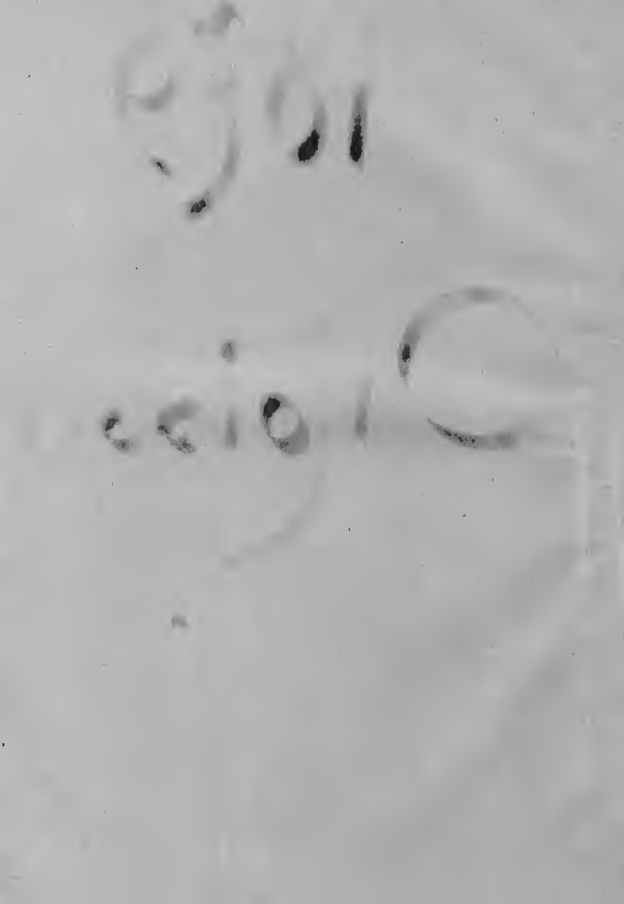
Monsieur Bouchardat, [illegible]

1879

Moissan



SUR LES

VOLUMES D'OXYGÈNE ABSORBÉ

ET D'ACIDE CARBONIQUE

ÉMIS DANS LA RESPIRATION VÉGÉTALE

PARIS. — IMPRIMERIE ÉMILE MARTINET RUE MIGNON, 2

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS

SUR LES

VOLUMES D'OXYGÈNE ABSORBÉ

ET

D'ACIDE CARBONIQUE

ÉMIS DANS LA RESPIRATION VÉGÉTALE

THÈSE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS

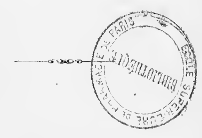
LE MAI 1879

Pour obtenir le Diplôme de Pharmacien de première classe

PAR

HENRI MOISSAN

Licencié ès sciences, attaché au laboratoire de culture du Muséum d'histoire naturelle
répétiteur de physique à l'Institut agronomique.



PARIS
IMPRIMERIE ÉMILE MARTINET
RUE MIGNON, HOTEL MIGNON, 2

1879

A M. DECAISNE

MEMBRE DE L'INSTITUT

PROFESSEUR AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE

A M. P.-P. DEHÉRAIN

PROFESSEUR A L'ÉCOLE DE GRIGNON

AIDE NATURALISTE AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE

A M. CHATIN

MEMBRE DE L'INSTITUT

DIRECTEUR DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS

A M. GARREAU

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LILLE

HOMMAGE RESPECTUEUX

HENRI MOISSAN.

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS

MM. Chatin, Directeur.
Bussy, Directeur honoraire.

ADMINISTRATEURS

MM. Chatin, Directeur.
Le Roux, Professeur,
Bourgoin, Professeur.

PROFESSEURS

MM. Chatin .... Botanique.
Milne-Edwards. Zoologie.
Planchon....... Histoire naturelle des médicaments.
Bouis .... Toxicologie.
Baudrimont..... Pharmacie chimique.
Riche.......... Chimie inorganique.
Le Roux .... Physique
Jungfleisch..... Chimie organique.
Bourgoin....... Pharmacie galénique.

PROFESSEURS DÉLÉGUÉS DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

MM. Bouchardat.
Gavarret.

CHARGÉS DE COURS

MM. Personne, Chimie analytique.
Bouchardat, Hydrologie et Minéralogie.
Marchand, Cryptogamie.

PROFESSEUR HONORAIRE

M. Berthelot.

AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM. G. Bouchardat.
J. Chatin.
M. Marchand.

M. Chapelle, *Secrétaire*.

PRÉPARATIONS

Solution de chlore.
Phosphate ferroso-ferrique.
Tartrate de potasse et d'antimoine.
Arséniate de soude.
Beurre d'antimoine.
Emplâtre diapalme.
Sirop de guimauve.
Vinaigre antiseptique.
Pate pectorale.
Extrait de bourrache.

SUR LES

VOLUMES D'OXYGÈNE ABSORBÉ

ET D'ACIDE CARBONIQUE

ÉMIS DANS LA RESPIRATION VÉGÉTALE



HISTORIQUE

Dans ses recherches chimiques sur la végétation[1], de Saussure, traitant des modifications qu'éprouve le gaz oxygène par son contact avec les feuilles, s'exprime ainsi : Les feuilles du chêne (*quercus robur*), du marronnier d'Inde, du faux acacia, du *sedum reflexum* et de la plupart des végétaux, diminuent le volume de leur atmosphère. Son gaz oxygène disparaît et il se forme un volume de gaz acide carbonique libre inférieur au volume du gaz oxygène consumé pendant l'expérience.

M. Lory tire de ses recherches sur la respiration des orobanches[2] la conclusion suivante. La somme de l'oxygène et de l'acide carbonique reste à très peu de chose près invariable; toutefois il y a presque toujours une petite différence en moins. M. Lory expérimentait sur des volumes de gaz assez grands par rapport au poids de la plante mise en expérience.

MM. Oudemans et Rauvenhoff[3], dans leur étude sur la germination, ont exprimé une opinion semblable : il n'y a pas de rapport simple entre la quantité d'acide carbonique dégagé (en vase clos) et celle d'oxygène absorbé. Au commencement, il y a plus d'oxygène

1. De Saussure, *Recherches chimiques sur la végétation*, p. 61.
2. Lory, *Respiration et structure des orobanches*. (*Ann. sciences nat.*, 3e série 1847, t. VIII, p. 158.)
3. Oudemans et Rauvenhoff, *Linnæa*, XIV, 2e livraison, 1859; p. 213-232.

absorbé que d'acide carbonique exhalé; plus tard, c'est l'inverse qui a lieu.

Plus récemment MM. Dehérain et Landrin [1], dans leurs recherches sur la germination, ont démontré qu'il y avait en effet diminution de volume dès le commencement de la germination, et que l'oxygène disparu surpassait toujours l'acide carbonique dégagé.

M. Borodin [2] a aussi remarqué que si on laisse séjourner un pois ou un haricot dans une atmosphère confinée, et si l'on compare le volume du gaz au commencement et à la fin de l'expérience, on constate presque toujours, tant qu'il reste de l'oxygène libre, une petite diminution de volume.

Bien que nous n'établissions pas de comparaison entre le dégagement d'acide carbonique qui se produit au moment de la germination et celui qui provient de la respiration normale des végétaux adultes, nous ne pouvons nous empêcher de remarquer, dans ces deux cas, une différence certaine entre les volumes d'oxygène absorbé et d'acide carbonique produit, ce dernier corps étant le plus souvent en moindre proportion.

Dans la respiration végétale, le rapport des deux gaz est-il constant ? Quelles sont les causes qui le font varier? Peut-on, par l'étude de ces échanges gazeux, essayer d'expliquer la formation de certains principes immédiats ? Telles ont été les idées qui nous ont amené à continuer les recherches qui, commencées il y a plusieurs années par M. Dehérain et nous, ont été poursuivies depuis cette époque au laboratoire de culture du Muséum, où MM. Decaisne et Dehérain n'ont cessé de nous prodiguer leurs bienveillants conseils.

Dans un travail inséré en 1874 aux *Annales des sciences naturelles* [3], M. Dehérain et l'auteur de ce mémoire avaient particulièrement étudié la respiration des feuilles. Outre l'action énergique, déjà observée par M. Garreau, que produit la chaleur obscure sur l'intensité de la respiration, nous avions été amené dans nos conclusions à formuler l'opinion suivante : la quantité d'oxygène absorbée par les feuilles surpasse la quantité d'acide carbonique produite. La différence est surtout sensible aux basses températures. Et en nous appuyant sur ces expériences, nous avions été conduits

1. Dehérain et Landrin, Comptes rendus; t. LXXVIII, p. 1488, et *Ann. sciences nat.*, t. XIX, p. 358.
2. Borodin, Congrès botanique international de Florence.
3. P.-P. Dehérain et H. Moissan, *Ann. sciences nat.* (botanique), 5e série, t. XIX.

à penser qu'une partie de l'oxygène absorbé pouvait, réagissant sur les hydrates de carbone, donner des produits d'oxydation inférieure, tels que les acides oxalique, malique, tartrique, etc..

On peut en effet considérer les acides végétaux comme venant de deux sources, soit d'une combinaison de l'eau avec les corps tels que l'acide carbonique ou l'oxyde de carbone, soit d'une oxydation des hydrates de carbone. Dans ses beaux travaux de synthèse M. Berthelot a produit l'acide formique en faisant réagir, à 100 degrés, l'oxyde de carbone sur une solution aqueuse de potasse. On comprend qu'une réaction analogue produise, par l'union de l'eau et de l'oxyde de carbone, les petites quantités d'acide formique qui se rencontrent dans certains végétaux.

Mais nous pensons que la formation des acides est liée plus particulièrement à l'oxydation des hydrates de carbone. Le volume d'oxygène fixé dans la feuille par le phénomène de la respiration étant, dans certaines conditions, plus grand que celui de l'acide carbonique émis, et ce dernier gaz ne contenant en oxygène que son propre volume, l'excès d'oxygène peut avoir agi sur les corps tels que le sucre, l'amidon, les celluloses, et avoir donné naissance à des produits acides. On sait en effet que le sucre, par une oxydation ménagée, peut produire l'acide oxalique ; que l'amidon, sous l'action d'un mélange de bioxyde de manganèse et d'acide sulfurique, peut donner naissance à l'acide formique.

Lorsque la température s'abaisse, le volume d'oxygène absorbé surpasse celui de l'acide carbonique émis, et nous remarquons justement que certaines plantes, la vigne par exemple, donne dans le nord des produits plus riches en acides végétaux que dans le midi, où elle reçoit une somme de chaleur beaucoup plus grande.

A la température ordinaire, le *cactus opuntia* absorbe plus d'oxygène qu'il n'émet d'acide carbonique. Quelquefois même l'émission d'acide carbonique devient si faible qu'elle peut à peine être décelée. Ce fait avait déjà été remarqué par Saussure. Or le cactus renferme parfois, d'après M. Payen, jusqu'à 70 p. 100 de son poids sec en oxalate de chaux.

Si la complication des réactions chimiques qui se passent dans les cellules végétales n'était pas aussi grande, nous pourrions comparer ce phénomène à l'oxydation de l'alcool : si on brûle complètement ce corps, on obtient de l'acide carbonique et de l'eau ; si on l'oxyde sous l'influence de la mousse de platine, on obtient de l'acide acétique.

Il est à remarquer, en effet, que l'oxygène non employé à la formation de l'acide carbonique ne peut être éliminé sous forme de vapeur d'eau, car si la combustion interne dépend surtout de la chaleur obscure, l'évaporation de l'eau, au contraire, ne se produit avec abondance que sous l'influence des radiations lumineuses[1]. »

Pour donner une idée de l'excès d'oxygène qui peut ainsi être fixé dans un végétal par le seul fait de la respiration, nous transcrirons ici quelques expériences tirées du mémoire dont nous avons parlé précédemment.

TABLEAU N° 1.

NUMÉROS D'ORDRE.	TEMPÉRATURES.	DURÉE en heures.	VOLUME d'air primitif.	VOLUME d'air final.	ACIDE carbonique produit.	OXYGÈNE absorbé.
			PINUS PINASTER 30 gr.			
1	0°	24	191.37	185.96	3.90	7.77
2	0°	114	191.37	182.26	27.33	39.80
3	13°	22	187.07	185.98	20.48	26.31
4	13°	47	189.11	186.60	35.24	38.53
5	15°	5	188.12	188.12	8.62	10.13
6	15°	18	188.12	179 69	18.56	33 93
			AGAVE AMERICANA 70 gr.			
7	0°	47	550.00	550.00	»	»
8	11°	90	524.19	522.64	32.26	48 81
9	10°	5	517.85	512.10	24.50	27.83
			AGAVE MICRACANTHA 55 gr.			
10	0°	48	780.00	780.00	»	»
11	11°	90	791.05	791.17	27.28	41.77

On remarque, dans toutes les expériences exécutées sur le pin maritime, à des températures comprises entre 0 et 15 degrés, que le volume de l'oxygène absorbé est toujours supérieur à celui de l'acide carbonique émis. Cette différence est encore plus sensible lorsque l'on opère sur les agaves ; on voit qu'une feuille d'*agave*

1. P.-P. Dehérain : *Sur l'évaporation de l'eau et la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles des végétaux*. Comptes rendus, 1869, t. LXIX, p. 381, et *Ann. de chimie et de physique*, 1869, t. XX, p. 228.

americana, qui à 0° ne dégage pas des quantités appréciables d'acide carbonique, fournit à la température de 11°, en 90 heures, 32^{cc}, 26 d'acide carbonique et prend 48^{cc}, 81 d'oxygène. Mais, chose curieuse, la différence entre les deux volumes de gaz n'est plus la même lorsque la température s'élève. Ainsi à 40°, pour la même feuille d'agave, les quantités d'acide carbonique et d'oxygène sont presque égales. Si nous divisons le volume de l'acide carbonique par celui de l'oxygène, l'expérience n° 8, faite à 11°, nous fournit le rapport 0,66 ; à 40°, ce rapport n'est plus que 0,88. Nous reviendrons plus loin sur ce fait intéressant.

La différence de ces rapports nous a donc amenés à penser que ce sujet méritait de nouvelles recherches, et nous avons entrepris le travail actuel.

Nous avons divisé notre mémoire en deux séries d'expériences. Dans la première, nous avons tenu à vérifier si cette action de la chaleur obscure sur la production de l'acide carbonique par les végétaux maintenus à l'obscurité n'était pas particulière aux feuilles, mais s'étendait également aux autres organes tels que les bourgeons et les rameaux, et si, pour une même température, elle ne dépendait point aussi de la saison.

Dans la seconde partie, la plus importante selon nous, nous avons étudié les variations du rapport de l'acide carbonique émis à l'oxygène absorbé, dans différents organes (feuilles, bourgeons, rameaux, pétales) à des températures différentes.

ACIDE CARBONIQUE ÉMIS PAR LES BOURGEONS ET LES RAMEAUX.

Description de l'appareil.

Les rameaux ou les bourgeons mis en expérience ont été placés dans une de ces éprouvettes portant une tubulure inférieure qui sont employées dans les laboratoires pour dessécher les gaz; cette éprouvette était maintenue dans un grand cylindre en verre renfermant de l'eau dont on faisait varier la température au moyen d'un courant de vapeur à 100°. La tubulure inférieure communiquait par un tube recourbé à angle droit avec une éprouvette remplie de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique bouilli [1]. A la suite de cette

1. Il faut avoir soin, lorsqu'on se sert d'une semblable éprouvette à dessécher, que les bouchons de liège ne soient pas touchés par l'acide sulfurique. Dans ce dernier cas, le liège se carbonise, et, même à la température ordinaire, le charbon produit ré-

éprouvette se trouvait un tube à boules contenant une solution de potasse caustique, puis deux tubes en U remplis l'un de potasse concassée en petits fragments, l'autre de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique.

La conduite des expériences était d'une grande simplicité. Prenons pour exemple l'expérience n° 30 du tableau III.

Nous avons commencé par emplir d'eau à 22° le manchon contenant l'éprouvette qui devait renfermer les rameaux, afin d'avoir, pendant toute la durée de l'expérience, une température à peu près constante.

Nous avons placé ensuite dans l'appareil un rameau de marronnier portant deux bourgeons terminaux dont le poids total était de 21 grammes. Et pour que l'obscurité fût bien complète, nous avons enveloppé le manchon d'un morceau de serge noire d'une double épaisseur. A la partie supérieure étaient ménagées trois petites ouvertures pour laisser passer les deux tubes de l'éprouvette et la tige d'un thermomètre. De la vapeur amenée d'un ballon voisin rendait à l'appareil la chaleur qu'il perdait par rayonnement, et, de temps en temps on mélangeait par le barbottement d'un courant d'air les différentes couches d'eau, de façon à avoir dans tout le manchon une température bien uniforme.

On faisait traverser l'appareil par un courant d'air dépouillé d'acide carbonique, puis, lorsqu'on jugeait que l'éprouvette ne contenait plus traces de gaz acide carbonique, on fermait au moyen de deux pinces de Mohr les tubes en caoutchouc qui se trouvaient aux extrémités de l'éprouvette contenant les rameaux.

On pesait le tube à boules contenant la solution de potasse et les deux tubes en U et on les plaçait à la suite de l'éprouvette :

Poids des tubes avant l'expérience :

Tube à boules..................................	57.634
Tube à potasse..................................	69.577
Tube à acide sulfurique..........................	76.375
	203.586

Nous notions l'heure et la température ; l'expérience commençait. Lorsqu'elle était terminée, on ouvrait les pinces de Mohr et

duit l'acide sulfurique et donne de petites quantités d'acide sulfureux. On sait quelle action délétère ce gaz exerce sur la vie végétale. Même avec des bouchons de caoutchouc cet inconvénient peut se produire au bout d'un certain temps.

l'on faisait de nouveau traverser l'appareil par un courant d'air dépouillé d'acide carbonique qui déplaçait le gaz contenu dans l'éprouvette renfermant les rameaux. Ce gaz se desséchait sur la colonne de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique, et l'acide carbonique qu'il contenait était ensuite fixé dans le tube à boules et dans le premier tube en U. Le tube à acide sulfurique servirait à dessécher le gaz dans le cas où la potasse caustique contenue dans le premier tube n'aurait pas suffi à arrêter la vapeur d'eau dont s'est saturé l'air sec en passant bulle à bulle dans la solution de potasse.

Mais, dans la plupart de nos expériences, ce tube à acide sulfurique servait de témoin, car toute la vapeur était arrêtée par la potasse caustique.

Poids des tubes après l'expérience :

Tube à boules	57.631
Tube à potasse	69.605
Tube à acide sulfurique	76.375
	203.611
	203.586
Acide carbonique produit	0.025

Un rameau de marronnier du poids de 21 grammes portant deux bourgeons nous a donc donné, en 24 heures, 25 milligrammes d'acide carbonique, la température moyenne étant 22 degrés.

Exposé des résultats.

Nous avons consigné dans les tableaux suivants les résultats obtenus.

Dans les premières colonnes se trouvent le numéro d'ordre des expériences, le nom de la plante à laquelle les rameaux sont empruntés, la durée des expériences, le poids des rameaux et la température. Dans les deux dernières nous avons placé le poids de l'acide carbonique produit dans chaque expérience et enfin établi par le calcul l'acide carbonique produit en 10 heures par 100 gr. de rameaux.

Le tableau II contient les expériences faites sur le *Pinus excelsa* et sur l'*Æsculus hippocastanum*. Ces recherches ont été entreprises vers le mois d'août 1875.

Les rameaux étaient choisis dans un parfait état de santé, on enlevait le plus délicatement possible les feuilles et on pesait l'acide carbonique produit aux différentes températures. Le rameau employé ne servait qu'à une seule expérience.

TABLEAU II

NUMÉROS d'ordre.	NATURE de la plante employée.	DURÉE des expériences.	POIDS des rameaux employés.	TEMPÉRATURE.	ACIDE carbonique produit.	AC. CARBON. produit en 10 heures par 100 gr. de rameaux.
12	Pinus excelsa.	4 h.	40	12°	0.004	0.025
13	—	23	30	19°	0.034	0.049
14	—	47	40	20°	0.099	0.053
15	—	12	30	20°	0.068	0.054
16	—	19	30	22°	0.042	0.073
17	—	21	30	23°	0.050	0.079
18	—	23	30	23°	0.056	0.081
19	—	5 1/2	30	30°	0.023	0.139
20	Æsculus hippocastanum.	23	50	10°	0.034	0.027
21	—	48	50	13°	0.081	0.034
22	—	25 1/2	50	17°	0.067	0.053
23	—	26 1/2	50	17°	0.072	0.054
24	—	5	50	28°	0.035	0.140

Les expériences consignées au tableau III ont été exécutées au mois de décembre 1876. Nous avons pris un rameau de marronnier de 20 grammes portant ses deux bourgeons terminaux, et c'est avec le même rameau qu'ont été faites toutes les expériences du tableau.

TABLEAU III

NUMÉROS d'ordre.	NATURE de la plante employée.	DURÉE des expériences.	TEMPÉRATURE.	ACIDE carbonique produit.	AC. CARBONIQUE produit en 10 heures par 100 grammes de rameaux.
25	Æsculus hippocastanum, rameau de 20 gr.	21 h.	15°	0.014	0.033
26	—	25	15°	0.017	0.034
27	—	24	20°	0.019	0.039
28	—	24	20°	0.020	0.041
29	—	25	20°	0.021	0.042
30	—	24	22°	0.025	0.052
31	—	53	23°	0.061	0.057
32	—	6	30°	0.012	0.100
33	—	4	35°	0.013	0.162

Influence de la température.

Nous nous sommes attaché surtout, dans cette première série de recherches, à montrer l'influence de la température sur le dégagement de l'acide carbonique. La marche du phénomène est identique à ce qu'elle était dans la respiration des feuilles, et bien que le dégagement d'acide carbonique soit ici beaucoup plus faible que lorsque nous opérions avec des organes d'une grande surface et contenant beaucoup de cellules parenchymateuses, il n'en est pas moins vrai que les phénomènes de combustion interne qui se passent dans les rameaux sont singulièrement exaltés par la chaleur obscure.

Tandis qu'à 12°, 100 grammes de rameaux de *Pinus excelsa* n'ont donné en dix heures que 25 milligrammes d'acide carbonique, la même quantité de rameaux dans le même temps ont, à 30°, donné 139 milligrammes, c'est-à-dire une quantité cinq fois plus grande.

De même pour le marronnier, qui à 10° donne 27 milligrammes, et à 28° 140 milligrammes.

Les expériences du tableau II ont été faites, comme nous l'avons dit plus haut, à la fin de l'été, tandis que celles inscrites au tableau III ont été entreprises à la fin de décembre. Si l'on compare ces deux séries d'expériences, on voit que des rameaux pris en été à 17° dégagent plus d'acide carbonique que des rameaux de même espèce mis en expérience en hiver et portés à 20°. Il en est de même si l'on compare les expériences 32 et 24, faites à 28° et à 30°.

Cela n'a rien qui doive nous surprendre, et l'on comprend très bien qu'au milieu du mois d'août, lorsque la végétation est dans toute son activité, la fonction respiratoire, à égalité de température, soit plus intense qu'en hiver. Il ne suffit pas de porter un rameau de 3° ou 4° à 30° pour le tirer de suite de son engourdissement. La vie végétale ne peut pas être réveillée de suite, et ce n'est que par degrés que les phénomènes de combustion interne reprennent leur intensité normale pour une température donnée.

Du reste, une fois que l'on fournit au rameau la quantité de chaleur nécessaire pour mettre en jeu les réactions qui déterminent le complet développement des bourgeons et l'épanouissement des feuilles, même au milieu de l'hiver, la vie ne tarde pas à se développer. Nous avons répété bien souvent l'expérience suivante : On

coupait au mois de janvier une branche de marronnier de 0^m,50 à 0^m,60 de longueur; on plaçait l'extrémité inférieure dans l'eau, en ayant soin de ne laisser sur la branche qu'un ou deux bourgeons floraux, puis le tout était abandonné non loin d'une étuve chauffée à une température ne dépassant pas 50°. Dans ces conditions, on voyait au bout d'une quinzaine de jours les bourgeons se gonfler, s'ouvrir, donner naissance aux feuilles, puis à une petite hampe supportant les organes floraux à l'état rudimentaire. Le limbe des feuilles de marronnier pouvait acquérir une longueur de 0^m,08 à 0^m,10, et comme elles étaient exposées à la lumière, elles ne tardaient pas à prendre une belle teinte verte. Les seules conditions nécessaires à la réussite de l'expérience, étaient de changer l'eau de temps en temps et de rafraîchir de loin en loin l'extrémité de la branche par une nouvelle section faite environ à un centimètre de l'ancienne.

Cependant, au bout de trois semaines d'une végétation peu vigoureuse, les feuilles tombaient, la hampe de fleurs, qui s'était peu développée, se détachait également, les substances de réserve étaient détruites, le rameau ne tardait pas à périr. Mais il n'en avait pas moins, transformant les matières amylacées qu'il avait à sa portée, commencé, sous l'action d'une élévation de température, le développement de ses jeunes feuilles.

ACIDE CARBONIQUE ÉMIS ET OXYGÈNE ABSORBÉ PAR DIFFÉRENTS ORGANES.

Description de la méthode employée.

Pour déterminer le rapport qui existe entre l'oxygène absorbé et l'acide carbonique émis dans la respiration, nous avons placé les organes végétaux dans une atmosphère limitée; nous avons mesuré le volume du gaz et déterminé sa composition avant et après l'expérience, et en ramenant le volume à 0° et à 0^m,760 de pression, il nous a été facile d'en déduire la quantité d'acide carbonique produite et la quantité d'oxygène disparue. Notre manière d'opérer sera établie nettement par un exemple que nous fournira l'expérience n° 107 du tableau VII.

Nous avons pris un rameau terminal d'*Eucalyptus globulus* pesant 14 grammes et nous l'avons introduit dans une éprouvette remplie

d'eau. Nous avions eu soin d'enlever tout l'air adhérent aux feuilles. On a fait passer ensuite dans l'éprouvette 160 centimètres cubes d'air atmosphérique à 11° et à $0^m,752$ de pression.

L'éprouvette a été portée sur la cuve à mercure et, au moyen d'une pipette recourbée, nous avons aspiré l'eau, de façon à remplacer ce liquide par du mercure. Il est très facile, avec un peu d'habitude, d'enlever ainsi presque toute l'eau contenue dans la cloche : dans toutes nos expériences, il ne restait jamais sur la surface du mercure plus d'un centimètre cube d'eau, quantité suffisante pour saturer d'humidité le gaz contenu dans la cloche, pour empêcher les vapeurs mercurielles d'exercer leur action toxique sur les organes végétaux, mais trop faible, par rapport à la solubilité de l'acide carbonique, pour être une cause d'erreur sensible. Cette manière d'opérer est préférable à celle qui consisterait à introduire directement les feuilles sous le mercure, car elles en retiennent toujours quelques goutelettes qui peuvent exercer une action nuisible. De plus, pour que certains organes, les rameaux, par exemple, ne soient pas mis en contact avec le mercure, tout en ayant leur extrémité dans la petite couche d'eau qui se trouve à sa surface, on plaçait sur le métal une petite plaque très mince de caoutchouc non vulcanisé.

L'éprouvette renfermant les feuilles était maintenue dans un verre cylindrique rempli de mercure et l'on avait soin que les deux niveaux, à l'intérieur et à l'extérieur de l'éprouvette, fussent à peu de chose près dans un même plan horizontal. Le tout était descendu dans un manchon de verre rempli d'eau, de façon à avoir une température constante pendant toute la durée de l'expérience. Dans l'exemple qui nous occupe, des morceaux de glace nageant dans l'eau maintenaient la température à 0°.

Ce récipient, afin de laisser les plantes dans une obscurité complète, était entouré d'une double couche de papier noir.

L'expérience avait été commencée le 4 janvier à 2 heures ; nous l'avons arrêtée le 5 janvier à 2 heures ; elle a donc duré 24 heures.

L'éprouvette était alors portée sur la cuve à mercure et on laissait sa température se mettre en équilibre avec celle du laboratoire. On faisait ensuite passer le gaz dans une cloche graduée, on lisait le volume, qui dans le cas actuel a été trouvé de 164 cent. cubes. On transportait sur la cuve à eau, on remplaçait le mercure par ce dernier liquide, on absorbait l'acide carbonique par la potasse ; on lisait

de nouveau ; le volume était devenu 159 cent. cubes. On faisait ensuite l'analyse du mélange d'oxygène et d'azote qui restait dans la cloche au moyen de l'acide pyrogallique et de la potasse.

Pris sur la cuve à eau	$24^{cc},1$
Après pyrogallate de potasse	19. 9
La température de la cuve à mercure était de	$14^{o},5$
Celle de la cuve à eau	$13^{o},2$
La pression atmosphérique	753.1

Il était facile de ramener alors les différents volumes gazeux à 0° et à 760[1].

1. Pour ramener le volume primitif à 0° et à 760 nous avons la formule :

$$Vo = \frac{Vt\,(H - f)}{(1 + \alpha t)\,760}$$

d'où :

$$Vo = \frac{160\,(752 - 9.79)}{1.04026 \times 760}$$

$$\log \text{Vol. pr.} = (\log 160 + \log 742.21) - (\log 0.01714 + \log 760).$$

$$\log. \text{Vol. pr.} = 2.1766932.$$

$$\text{Vol. pr.} = 150.21.$$

Le volume primitif étant de l'air atmosphérique, sa composition est facile à déterminer. Représentons par x la quantité d'oxygène qu'il contient, nous aurons :

$$\frac{150.21}{x} = \frac{1000}{208}$$

$$x = \frac{150.21 \times 208}{1000} = 31.24.$$

Les feuilles d'*Eucalyptus* ont donc été placées dans un mélange de 31.24 d'oxygène et de 118.97 d'azote.

Le volume final après l'expérience était à 0° et à 760.

$$\text{Vol. f.} = \frac{164\,(753.1 - 12.29)}{1.05307 \times 760}$$

$$\log \text{Vol. f.} = (\log 164 + \log 740.81) - (\log 0.02246 + \log 760)$$

$$\log \text{Vol. f.} = 2.1812770$$

$$\text{Vol. f.} = 151.80.$$

Le volume pris sur la cuve à eau après l'absorption de l'acide carbonique devient :

$$Vo = \frac{159\,(753.1 - 11.31)}{1.04831 \times 760}$$

$$\log Vo = (\log 159 + \log 741.79) - (\log 0.02049 + \log 760)$$

$$\log Vo = 2.1703745$$

$$Vo = 148.04.$$

Si nous faisons la différence entre 148.04 et 151.80, nous avons l'acide carbonique produit, soit $3^{cc},76$.

La somme des volumes d'azote et d'oxygène étant égale à $148^{cc},04$, d'après l'analyse citée plus haut, nous aurons le volume d'azote restant au moyen de la proportion suivante :

$$\frac{148.04}{x} = \frac{24.1}{19.9}$$

$$x = \frac{148.04 \times 19.9}{24.1} = 122.24.$$

Le volume de l'oxygène restant sera 25.80.

On connait donc exactement la composition du gaz avant et après l'expérience.

Pour rendre les résultats plus sensibles, nous avons disposé nos chiffres dans l'ordre suivant :

	Gaz primitif.	Gaz final.	Différences.
Volume total............	150.21	151.80	+ 1.59
Oxygène................	31.24	25.80	— 5.44
Acide carbonique........		3.76	+ 3.76
Azote..................	118.97	122.24	+ 3.27

Dans les colonnes de 1 à 6, nous avons placé les numéros d'ordre, la nature de la plante employée, l'intensité de la lumière, le poids des organes sur lesquels ont porté nos recherches, la température et la durée des expériences. La plupart ont été faites dans l'obscurité; quelques-unes seulement, sur les bourgeons et sur les tiges de marronnier, ont été entreprises, soit à la lumière diffuse du laboratoire, soit au soleil, et dans ce cas portées à des températures variant de 15° à 30°. Les colonnes 7, 8 et 9 contiennent le volume primitif du gaz sur lequel on opérait. Le volume final se trouve inscrit dans les colonnes 10, 11, 12 et 13. L'oxygène absorbé est indiqué à la colonne 14; les résultats sont obtenus par la différence des chiffres de 8 et de 11.

La colonne 15 renferme l'azote apparu lorsque le chiffre est précédé du signe +, disparu lorsque le chiffre est précédé du signe —. Enfin, en 16 et en 17, nous avons inscrit l'oxygène et l'acide carbonique absorbé et émis par 100 grammes en 10 heures, au milieu de l'atmosphère sur laquelle on opérait.

Ces deux séries d'expériences, faites par des méthodes différentes, devaient nous fournir un moyen de contrôle et nous montrer, par la plus ou moins grande concordance de nos chiffres, quelle confiance on pouvait attendre de nos manières d'opérer.

Ainsi, dans le tableau II, nous avons fait une expérience sur 50 grammes de rameaux de marronnier et nous avons trouvé 0gr,081 d'acide carbonique produit, ce qui, pour 100 grammes de rameaux en 10 heures nous donne 0gr,034.

Dans la deuxième série de recherches, nous avons aussi des expériences faites sur les mêmes rameaux. Mais au lieu de prendre 50 grammes, nous avons pris 5 grammes; la durée de l'expérience est moitié moindre; au lieu de peser l'acide carbonique, nous le mesurons. Dans ces nouvelles conditions, les résultats trouvés, seront-ils, à peu de chose près, comparables à ceux du tableau II?

Si nous nous reportons à l'expérience 73 du tableau VI, nous voyons que 5 grammes de rameaux de marronnier à 15° ont donné en 21 heures 1c. c.,95 d'acide carbonique, c'est-à-dire que 100 grammes donneraient en 10 heures 18c. c.,57. Or, le poids de 18c. c.,57 d'acide carbonique est 18,57 $\times$ 0,00197 (1gr,97 étant le poids d'un litre d'acide carbonique), ce qui nous donne 0gr,036.

La différence entre les deux expériences 21 du tableau II et 73 du tableau VI est donc de 0gr,002, différence en plus dans le sens de la température la plus élevée, l'une des deux expériences étant faite à 13° et l'autre à 15°.

Il en est de même pour l'expérience 24 du tableau II et l'expérience 74 du tableau VI. Dans le premier cas, à la température de 28°, 100 grammes de rameaux de marronnier nous donnent, en 10 heures, 0gr,140 d'acide carbonique; dans le second cas, à la température de 30°,100 grammes nous donnent, en 10 heures, 87c. c.,52, c'est-à-dire 0gr,172. Différence, 0gr,032 dans le sens de la température la plus élevée.

Respiration des pétales.

Toutes nos recherches ont porté sur des pétales assez grands et assez forts pour résister à nos expériences. Le premier fait qui ressort des chiffres consignés au tableau IV, c'est que dans les pétales l'activité respiratoire est très accentuée. Ainsi qu'on l'a vu au tableau I, 10 grammes d'aiguilles de *Pinus pinaster* ont donné en 10 heures, à la température de 13°, environ 3 cent. cubes d'acide carbonique; à la même température et dans les mêmes conditions, les pétales de tulipe jaune ont produit 7c. c.,41, et ceux d'*Iris germanica*, 5c. c.,69.

De même que dans les feuilles, ce dégagement d'acide carbonique augmente avec une élévation de température, et ici, comme on agit sur des organes privés de chlorophylle, la respiration est aussi manifeste au soleil qu'à l'obscurité (Cahours). Dans nos expériences, les éprouvettes étaient maintenues à l'obscurité, dans une masse d'eau d'un certain volume, de façon à avoir une température aussi constante que possible.

A 13°, 10 grammes de pétales d'*Iris germanica*, en 10 heures, ont donné 5c. c.,44 d'acide carbonique; à 19°, le volume de gaz produit est 10c. c.,34, à peu près le double.

Ainsi, dès que la température atteint 29°, nous voyons les pétales de rose trémière et les pétales de rose rouge exhaler plus de 20 cent. cubes d'acide carbonique en 10 heures pour 10 grammes d'organes mis en expérience. Dans nos premières recherches sur les tulipes et la pivoine, on peut voir, par les expériences 35, 36, 37, 38 et 39, que tout l'oxygène contenu dans l'éprouvette était fixé dans le végétal. L'absorption est telle que l'acide pyrogallique et la potasse ne se colorent même pas au contact du gaz restant. Un organe végétal placé à l'obscurité dans un mélange gazeux contenant de l'oxygène, fixe ce dernier gaz avec une énergie aussi grande que le phosphore ou le pyrogallate de potasse. Mais dès qu'il n'y a plus d'oxygène dans l'atmosphère en contact avec le pétale, la vie est-elle suspendue ou anéantie? On peut voir dans les expériences déjà citées, où tout l'oxygène a été absorbé, que les volumes d'acide carbonique produits sont ou inférieurs ou très peu supérieurs aux volumes d'oxygène disparus. On serait donc porté à croire, d'après ces expériences, que dans les pétales le dégagement d'acide carbonique s'arrêterait avec l'absorption d'oxygène. Il n'en est rien cependant. Placé dans un gaz inerte, un pétale, de même qu'une feuille, ne consent pas à mourir aussi facilement. Le dégagement d'acide carbonique continue; mais il continue aux dépens de la plante qui fournit tout à la fois et le carbone et l'oxygène. Nous reviendrons plus loin sur ce phénomène de combustion interne déjà étudié par nous dans notre premier mémoire et qui vient de fournir à M. Müntz le sujet d'un important travail.

Comme les pétales sont des organes de courte durée, dont le rôle est terminé après la fécondation, c'est un peu avant ou au moment même de l'épanouissement qu'il faut étudier leur respiration.

Prenons pour exemple l'expérience 47 du tableau IV. Cinq grammes de pétales de *Lilium candidum* à la température de 20° n'ont donné, en 49 heures, dans une atmosphère d'azote, que $3^{cc},84$ d'acide carbonique. Une expérience comparative (n° 46) faite dans l'air a produit 23 cent cubes.

Pour nous rendre compte de ce que pouvait être ce dégagement dans un gaz inerte lorsque les pétales étaient bien vigoureux, nous avons opéré, en août 1875, sur les pétales d'une rose rouge qui commençait à peine à s'épanouir. Nous avons placé 5 grammes de pétales dans l'hydrogène à la température de 23°,5; l'expérience a

4

TABLEAU IV.

Nos D'ORDRE.	NATURE des FLEURS EMPLOYÉES.	POIDS des pétales.	TEMPÉRATURES.	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE en heures.	VOLUME PRIMITIF			VOLUME FINAL				OXYGÈNE ABSORBÉ.	AZOTE APPARU.	OXYGÈNE ABSORBÉ par 10 gr. de pétales en 10 heures.	ACIDE CARBONIQUE émis par 10 gr. de pétales en 10 heures.
					VOLUME total.	OXYGÈNE.	AZOTE.	VOLUME total.	OXYGÈNE.	AZOTE.	ACIDE carbonique.				
34	Tulipe jaune.............	5 gr.	13°	6 ½	151.56	31.52	120.04	150.62	27.71	120.50	2.41	3.81	+ 0.46	11.72	7.41
35	—	10	22	26 ½	147.36	30.65	116.71	143.68	»	117.32	26.36	30.65	+ 0.61	11.56	9.95
36	Tulipe rouge.............	7	20	45	147.16	30.61	116.55	147.36	»	117.64	29.72	30.61	+ 1.09	9.71	9.43
37	—	7	20	45	147.16	30.61	116.55	151.04	»	119.31	31.73	30.61	+ 2.76	9.71	10.07
38	Tulipe blanche...........	6	22	26 ½	147.36	30.65	116.71	143.68	»	120.28	23.40	30.65	+ 3.57	9.64	7.35
39	Pivoine	8	22	27	147.36	30.65	116.71	148.28	»	115.62	32.66	30.65	— 1.09	14.19	15.12
40	Iris germanica...........	5	14	18	151.30	31.47	119.83	146.56	22.54	117.50	6.52	8.93	— 2.33	9.92	7.24
41	—	5	19	25 ½	146.09	30 38	115.71	141.70	13.19	115.32	13.19	17.19	— 0.39	13.48	10.34
42	—	5	13	72	151.30	31.47	119.83	152.98	7.95	125 45	19.58	23.52	+ 5.62	6.53	5.44
43	Iris florentina	5	19	25 ½	146.09	30.38	115.71	144.41	16.30	117.63	10.48	14.08	+ 1.92	11.04	8.22
44	—	5	19	25 ½	146.09	30.38	115.71	141.70	15.07	115.78	10.85	15.31	+ 0.07	12.01	8.51
45	Lilium candidum.........	5	21	24 ½	146.44	30.46	115.98	144.90	15.77	115.70	13.43	14.69	— 0.28	11.99	10.96
46	—	5	21	49	146.44	30.46	115.98	144.90	2.37	118.78	23.75	28.09	+ 2.80	11.46	9.69
47	—	5	21	49	146.44	»	146.44	152.15	»	148.31	3.84	»	+ 1.87	»	1.56
48	Lilium croceum..........	5	21	24 ½	146.44	30.46	115.98	144.90	11.14	117.34	16.42	19.32	+ 1.36	13.40	15.77
49	—	5	21	49	146.44	30.46	115.98	147.16	»	119.13	28.03	30.46	+ 3.15	12.43	11.42
50	Hemerocallis fulva........	5	21	5 ½	146.44	30.46	115.98	146.44	25.54	117.78	3.12	4.92	+ 1.80	17.89	11.34
51	—	5	21	24 ½	146.44	30.46	115.98	143.09	3.07	117.92	22.10	27.39	+ 1.94	23.25	18.41
52	Rose trémière jaune......	5	29	20	144.69	30.09	114.60	140.60	3.96	115.10	21.54	26.13	+ 0.50	26.13	21.54
53	Rose trémière rouge......	5	29	20	144.69	30.09	114.60	140.60	7.31	114.74	18.55	22.78	+ 0.14	22.78	18.55
54	Rose rouge.............	5	29	20	144.69	30.09	114.60	136.99	»	113.24	23.75	30.09	— 1.36	30.09	23.75
55	Bouton Iris germanica....	5.5	13	72	122.93	25.56	97.37	118.19	6.69	98.11	13.39	18.87	+ 0.74	5.26	3.38
56	— Lilium candidum..	3.53	21	26 ½	146.44	30.46	115.98	146.72	19.36	116.80	10.56	11.10	+ 0.92	11.87	11.29
57	— Hemerocallis fulva.	2.075	21	26 ½	146.44	30.46	115.98	146.72	20	117 63	9 09	10.46	+ 1.65	19.02	16.53

duré 22 heures. Les chiffres suivants, ramenés à 0° et à $0^{m},760$, donnent les résultats :

	Gaz primitif.	Gaz final.	Différences.
Volume total...........	177.79	184.26	+ 6.47
Hydrogène.............	177.79	170.35	— 7.44
Acide carbonique.......		13.91	+ 13.91

Nous avons compté en hydrogène la petite quantité d'azote contenue dans les pétales, qui a pu se diffuser dans le gaz mis en expérience.

En résumé, à 23°,5, 10 grammes de pétales de rose rouge donnent en 10 heures $12^{c.c.},45$ d'acide carbonique, soit $0^{gr},025$.

Une autre expérience faite sur le même poids de pétales à une température qui a oscillé entre 25° et 27°, et qui a duré 26 heures, nous a donné les résultats suivants :

	Gaz primitif.	Gaz final.	Différences.
Volume total...........	179.62	196.29	+ 16.67
Hydrogène.............	179.62	175.24	— 4.38
Acide carbonique.......		21.05	+ 21.05

C'est-à-dire qu'à 26°, 10 grammes de pétales de rose rouge donnent en 10 heures $16^{c.c.},84$ d'acide carbonique pesant $0^{gr},023$.

Ce chiffre est inférieur à celui obtenu dans l'air, puisque, à une température peu différente, 29° (expérience 54 du tableau IV), 10 grammes de pétales en 10 heures ont produit $23^{c.c.},75$.

On peut donc conclure de ces expériences que le dégagement d'acide carbonique dans un gaz inerte s'étend aussi bien aux organes floraux qu'aux feuilles d'un végétal.

Nous avons comparé précédemment la respiration des pétales à celle des aiguilles de pin maritime pour une même température, et nous croyons avoir démontré qu'elle lui est bien supérieure. Mais les pétales ne jouissent pas seuls de cette propriété de dégager de fortes proportions d'acide carbonique. Tout organe jeune en voie de formation respire avec une grande énergie. Nous renvoyons le lecteur au tableau V, expériences 69 et 70. Le 4 mai 1876, 10 grammes de jeunes feuilles de marronnier ont donné, en 10 heures, à 13°, $15^{c.c.},54$ d'acide carbonique, quantité supérieure à celle donnée par les pétales d'*Iris germanica* ou de tulipe jaune à la même température. Nous verrons du reste plus loin, en traitant de la respiration des bourgeons, le même phénomène se reproduire.

Cette absorption d'oxygène est-elle utile à la fleur? De Saussure, qu'on ne saurait trop consulter lorsqu'il s'agit des grandes questions de physiologie végétale, dit dans ses *Recherches chimiques sur la végétation* : « Les fleurs, même celles des plantes aquatiques, ne se développent point dans le gaz azote pur. Leurs boutons prêts à s'y épanouir y sont comme paralysés; et ces parties épanouies ou non s'y putréfient plus vite que sous des récipients pleins d'air commun. »

Cette perte de carbone par combinaison avec l'oxygène de l'air, essentiellement nécessaire à la vie de la fleur, produit comme toute combustion une certaine quantité de chaleur. Dans les feuilles, cette chaleur paraît être utilisée à la formation des principes immédiats. Il était logique de penser que dans les fleurs elle favorisait l'élaboration de ces principes odorants, quelquefois si fugaces, qui varient avec la nature de la plante : essence de rose, de jasmin, de girofle, etc. Mais M. Cahours[1] a démontré qu'il n'existait pas de relation entre la production des principes odorants et l'énergie de la respiration. Si la chaleur développée n'est pas employée au fur et à mesure de sa production à la formation de principes immédiats, si elle n'est point une cause de formation de corps nouveaux, elle doit être sensible, et c'est en effet ce qui arrive pour certaines fleurs. On sait que, grâce à la disposition des organes floraux de quelques *Arums*, on peut avec un simple thermomètre déceler au moment de la floraison des élévations de température de 5° à 6°. Cette chaleur n'est due qu'à une combustion produite par l'oxygène de l'air atmosphérique, puisque, plus l'accroissement de température est grand, et plus grande aussi est l'absorption d'oxygène. C'est ce qu'a parfaitement démontré M Garreau dans son mémoire publié en 1852 aux *Annales des sciences naturelles*[2] : « La chaleur qui se manifeste dans le spadice de l'*Arum italicum* croît avec la quantité d'oxygène que cet organe consomme dans un temps donné. »

De plus, dans une même fleur, ce sont les organes floraux les plus importants qui respireront avec le plus d'énergie. « Des divers éléments qui constituent la fleur, ce sont le pistil et les étamines, en qui réside la plus grande puissance de vitalité, qui consomment la

1, Cahours, Comptes rendus: LVIII, 1864, p. 1200.

2. Garreau, *Relations qui existent entre l'oxygène consommé par le spadice de* l'arum italicum *en état de paroxysme, et la chaleur qui se produit.* (*Ann. sc. nat.*, 3e série, XVI, 1851, p. 250.)

plus grande quantité d'oxygène et produisent la plus forte proportion d'acide carbonique. » (Cahours.)

Enfin, nous ferons remarquer que, dans toutes les expériences comprises dans le tableau IV, le volume d'acide carbonique produit est toujours inférieur à celui de l'oxygène absorbé. Lorsque l'expérience dure peu de temps (n° 34), le rapport est $\frac{2.41}{3.81} = 0{,}64$. Au contraire, lorsque l'expérience est de longue durée (n° 49), le rapport tend vers l'unité, il devient $\frac{28.03}{30.46} = 0{,}92$.

Des expériences faites sur des boutons entiers d'*Iris germanica*, de *Lilium candidum* et d'*Hemerocallis fulva* (exp. 55, 56 et 57) nous ont donné les mêmes résultats. Excès de l'oxygène absorbé sur l'acide carbonique produit. L'expérience 55 nous montre même une grande différence entre les deux volumes, car, pour 13c. c.,39 d'acide carbonique apparu, il a disparu 18c. c.,87 d'oxygène; le rapport serait $\frac{13.39}{18.87} = 0{,}72$.

En résumé, à des températures comprises entre 13° et 29°, les pétales mis en expérience ont toujours absorbé plus d'oxygène qu'ils n'ont émis d'acide carbonique.

Nous devons aussi appeler l'attention sur ce fait que, lorsque deux plantes du même genre ont des pétales blancs ou colorés, les pétales blancs semblent toujours donner à l'obscurité un volume d'acide carbonique plus faible. C'est ainsi qu'en 10 heures, à 19°, 100 grammes de pétales blancs d'*Iris florentina* donnent 83 cent. cubes d'acide carbonique et que 100 grammes de pétales violets d'*Iris germanica* fournissent 103 cent cubes. Les pétales du *Lilium candidum*, à 21°, exhalent 109 cent. cubes, ceux du *Lilium croceum*, à la même température, 157 cent. cubes. Il en est de même pour les tulipes jaunes et blanches. Les expériences faites sur la tulipe rouge ne peuvent pas servir de termes de comparaison, parce qu'elles ont duré trop longtemps. On comprend très bien qu'exposés à la lumière et à la chaleur solaire, la température des pétales colorés soit plus élevée que celle des pétales blancs. Leur pouvoir absorbant est évidemment plus grand. La température étant différente, la respiration l'est aussi. Mais on s'explique moins bien qu'à l'obscurité les différences soient encore aussi accusées. Il semblerait donc ici que la chaleur plus ou moins grande reçue par des pétales différents agit encore après le départ de la source qui l'a produite. Nos recherches n'ayant pas d'ailleurs porté spécialement sur ce sujet, nous nous contentons de le signaler en passant.

Respiration des bourgeons.

Les expériences ont porté sur les bourgeons floraux de l'*Æsculus hippocastanum;* elles ont été exécutées au mois d'avril, au moment où la combustion végétale reprend toute son activité. On voit, par les expériences 58, 59, 60 et 61, qu'une différence de 15 degrés dans la température fait varier du simple au double la production de l'acide carbonique. 5 grammes de bourgeons, en 21 heures, à 15°, ont donné 10c.c.,29 d'acide carbonique; à 30°, le volume de gaz recueilli est 21c.c.,24. Si nous comparons ces quantités à celles produites par de très jeunes feuilles de marronnier, le 4 mai, nous voyons qu'elles leur sont inférieures. Cependant M. Garreau avait annoncé: que les bourgeons en respirant consument plus de carbone que les feuilles[1]. Mais cette différence entre les conclusions du savant physiologiste et les nôtres tient à ce que nous avons toujours pris les bourgeons avant que les écailles ne fussent entr'ouvertes, c'est à dire au moins dix ou quinze jours avant l'épanouissement. M. Garreau mentionne, dans plusieurs de ses expériences, l'épanouissement des bourgeons dans ses appareils. Le point important pour nous était du reste de connaître le rapport de l'acide carbonique émis à l'oxygène consommé. On voit, par les expériences 58, 59, 60, 61, 62 et 63, que le rapport des deux gaz n'est point constant. Une fois, à 12° (n° 63), il y a eu un petit excès d'acide carbonique, les autres fois au contraire une légère diminution (nos 58, 60). Dans tous les cas les différences sont peu accusées.

Au contraire, dès que la jeune feuille est formée, lorsqu'elle a encore une couleur vert tendre, elle respire avec une grande énergie et elle fixe notablement plus d'oxygène qu'elle n'en émet à l'état d'acide carbonique.

En 10 heures, 10 grammes de feuille ont produit 1c.c.,5 d'acide carbonique et ont absorbé 19 cent. cubes d'oxygène. Ce qui, pour 100 cent. cubes d'oxygène absorbé, représente 81c.c.,5 d'acide carbonique produit. La différence entre les deux gaz absorbés et émis est ici nettement accusée.

Il semble qu'au moment de ce rapide accroissement, la plante,

1. Garreau, *De la respiration chez les plantes.* (*Ann. sciences nat.*, 3e série, XV, 1851.)

TABLEAU V.

Nos D'ORDRE.	NATURE DE LA PLANTE employée.	INTENSITÉ de la LUMIÈRE.	POIDS DES ORGANES mis en expérience.	TEMPÉRATURES.	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE en heures.	VOLUME PRIMITIF			VOLUME FINAL				OXYGÈNE ABSORBÉ.	AZOTE APPARU.	OXYGÈNE ABSORBÉ par 100 gr. de bourgeons en 10 heures.	ACIDE CARBONIQUE émis par 100 gr. de bourgeons en 10 heures.
						VOLUME total.	OXYGÈNE.	AZOTE.	VOLUME total.	OXYGÈNE.	AZOTE.	ACIDE carbonique.				
	Marronnier (avril).															
58	Bourgeons...	Lumière diffuse.	5 gr.	15°	21	150.40	31.28	119.12	149.55	19.21	120.05	10.29	12.07	+ 0.93	114.95	98
59	—	Lumière diffuse.	5	30	21	150.40	31.28	119.12	151.44	9.59	120.61	21.24	21.69	+ 1.49	206.57	202.28
60	—	Obscurité.	5	15	21	150.40	31.28	119.12	147.87	18.48	118.93	10.46	12.80	— 0.19	121.90	99.62
61	—	—	5	30	21	150.40	31.28	119.12	155.23	18.75	120.31	16.17	12.53	+ 1.19	59.66	154
62	—	Lumière diffuse.	10	12	48	147.17	30.61	116.56	150.04	4.73	118.96	26.35	25.88	+ 2.40	53.54	54.89
03	—	—	5	12	48	147.17	30.61	116.56	150.04	17.04	121.57	11.43	13.57	+ 5.01	56.54	47.68
64	Bourgeons et rameaux...	—	5	15	21	150.40	31.28	119.12	149.55	22.03	119.51	8.01	9.25	+ 0.39	88.09	76.28
65	—	Obscurité.	15	15	25	149.14	31.02	118.12	165.96	»	121.52	44.44	31.02	+ 3.40	82.72	118.50
66	—	—	16	15	67	146.38	30.44	115.94	178.97	»	118.59	60.38	30.44	+ 2.65	28.39	56.32
67	—	—	15	15	26	149.14	149.14	»	138.33	75.22	5	58.21	73.92	+ 5	189.53	149.25
68	—	—	15	15	97	149.14	149.14	»	131.66	21.22	5	105.44	127.92	+ 5	87.92	72.47
69	Feuilles (4 mai)......	—	4.5	13	20	150.24	31.25	118.99	144.83	14	116.84	13.99	17.25	— 2 15	191.66	155.44
70	—	—	4.5	13	20	150.24	31.25	118.99	144.83	14.93	116.26	13.64	16.32	— 2.73	181.33	151.55

aussi bien que la graine en germination, a besoin de produits oxydés, et qu'elle retient avec énergie une partie de l'oxygène qu'elle inspire.

Influence de la composition de l'atmosphère ambiante sur la respiration des bourgeons.

Dans leurs recherches antérieures, M. Dehérain et l'auteur de ce mémoire avaient démontré que, lorsque l'on compare les chiffres obtenus par la respiration des feuilles dans l'oxygène pur à ceux fournis par les expériences exécutées dans l'air, on trouve des différences peu sensibles. Cependant les plantes maintenues dans l'oxygène semblaient nous avoir donné un petit excès d'acide carbonique.

Si l'on vient à étendre les mêmes recherches aux bourgeons, on trouve des différences plus notables. Ainsi, à 75° (n° 67), 100 grammes de rameaux de marronnier munis de leurs bourgeons donnent en 10 heures, dans l'oxygène, 149c. c.,25 d'acide carbonique ; dans les mêmes conditions de durée, des rameaux identiques n'exhalent dans l'air que 76c. c.,28. Mais dans le premier cas, comme dans le second exemple à 15°, ils absorbent plus d'oxygène qu'ils n'émettent d'acide carbonique. Dans l'oxygène la différence en 26 heures a été de 15 cent. cubes.

La seconde expérience exécutée dans l'oxygène (n° 68) nous montre clairement l'influence fâcheuse d'un excès d'acide carbonique sur la respiration. Si les rameaux ne restent confinés dans une atmosphère de 150 cent. cubes que 26 heures, le dégagement calculé pour 100 grammes en 10 heures est 149c. c.,25 ; si au contraire l'expérience dure 97 heures, bien qu'il reste encore une petite quantité d'oxygène, le dégagement moyen dans les mêmes conditions n'est plus que 72c. c.,47.

On voit par les expériences 65 et 66 qu'après avoir absorbé tout l'oxygène de l'air qui les entoure, les bourgeons, comme les feuilles et les pétales, continuent d'émettre de l'acide carbonique, puisque le volume de ce gaz est bien supérieur à celui de l'oxygène disparu.

Respiration des rameaux.

Le tableau VI renferme nos expériences sur les rameaux. Les expériences de 78 à 85 ont été faites en avril 1873, 86 et 87 en janvier 1877. Les premières recherches ont porté sur les rameaux de marronnier ; elle ont été exécutées soit à la lumière diffuse, soit à

l'obscurité, à des températures de 15° et de 30°. Les quatre premières expériences ayant eu la même durée, 21 heures, sont donc parfaitement comparables. A 15°, à l'obscurité, 5 grammes de rameaux donnent 1c.c.,95 d'acide carbonique et fixent 3c.c.,92 d'oxygène, le rapport des deux gaz est $\frac{1.95}{3.92} = 0,497$; à 30°, le même poids de rameaux fournit 9c.c.,19 d'acide carbonique, absorbe 3c.c.,69 d'oxygène, le rapport devient $\frac{9.19}{3.69} = 2,49$.

Dans le premier cas l'acide carbonique exhalé ne représentait pas la moitié de l'oxygène fixé : dans le second cas, son volume était plus du double de celui de l'oxygène.

C'est là le premier exemple bien marquant de l'influence de la température, non seulement sur le dégagement de l'acide carbonique, mais encore sur le rapport des deux gaz absorbé et émis. Une différence de 15° peut donc sur un rameau de marronnier amener une fixation ou une déperdition d'oxygène, puisque, suivant la température, la quantité d'acide carbonique dégagé sera plus petite ou plus grande que la quantité d'oxygène consumé.

La chaleur obscure ayant une telle action sur la respiration des rameaux, il nous a paru intéressant de voir quelle serait alors l'action de la lumière diffuse. Les expériences 71 et 72, faites à 15° et à 30° le même jour et dans les mêmes conditions que les précédentes, vont nous aider à résoudre cette question. A 15°, 5 grammes de rameaux, à la lumière diffuse du laboratoire, ont donné 3c.c.,14 d'acide carbonique contre 2c.c.,97 d'oxygène fixé, le rapport est $\frac{3.14}{2.97} = 1,06$; par conséquent, nous pouvons dire que dans ce cas la lumière agit comme la chaleur obscure.

A 30° (expérience 72) la différence est encore plus sensible, le rapport devient $\frac{6.56}{3.59} = 1,82$. Si l'on répète la même expérience à une température un peu inférieure, 12° (n° 75), on voit que le rapport des deux gaz est à peu près égal à l'unité.

Avant de continuer ces recherches sur le marronnier, nous avons tenu à nous assurer si, à une température de 15°, on pourrait considérer comme général ce fait, que les rameaux à l'obscurité absorbent plus d'oxygène qu'ils n'émettent d'acide carbonique. Nous avons étudié la respiration des rameaux suivants : *Pistacia chia*, *Fraxinus aurea*, *Ailanthus glandulosus*, *Juglans regia*, *Robinia pseudo-acacia*, *Catalpa syringæfolia*, *Taxus baccata*, *Ginko biloba*, *Pinus sylvestris* et *Picea excelsa*. Sur trente expériences, nous en avons trouvé vingt qui nous ont donné un excès d'oxygène absorbé et dix

TABLEAU VI.

Nos D'ORDRE.	NATURE DES RAMEAUX employés.	INTENSITÉ de la LUMIÈRE.	POIDS.	TEMPÉRATURES.	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE en heures.	VOLUME PRIMITIF			VOLUME FINAL				OXYGÈNE ABSORBÉ.	AZOTE APPARU.	OXYGÈNE ABSORBÉ par 100 gr. de tiges en 10 heures.	ACIDE CARBONIQUE émis par 100 gr. de tiges en 10 heures.
						VOLUME total.	OXYGÈNE.	AZOTE.	VOLUME total.	OXYGÈNE.	AZOTE.	ACIDE carbonique.				
			gr.	°												
71	Marronnier...	Lumière diffuse.	5	15	21	150.40	31.28	119.12	147.87	28.31	116.42	3.14	2.97	— 2.70	28.28	29.90
72	— ...	—	5	30	21	150.40	31.28	119.12	155.23	27.69	120.98	6.56	3.59	+ 1.86	34.19	62.47
73	— ...	Obscurité.	5	15	21	150.40	31.28	119.12	147.87	27.36	118.56	1.95	3.92	+ 0 56	37.33	18.57
74	— ...	—	5	30	21	150.40	31.28	119.12	159.01	27.59	122.23	9.19	3.69	+ 3.11	35.14	87.52
75	— ...	Lumière diffuse.	10	12	48	147.17	30.61	116.56	150.04	3.20	119.27	27.57	27.41	+ 2.71	57.10	57.44
76	Pistacia chia.	Obscurité.	10	15	45	144.95	30.15	114.80	147.42	17.71	116.43	13.28	12.44	+ 1.63	27.64	29.51
77	Fraxinus aurea.......	—	10	15	45	144.95	30.15	114.80	141.88	10 76	114 66	16.46	19.39	— 0.14	43.08	36.57
78	Ailanthus glandulosus.	—	10	15	45	144.95	30.15	114.80	146.20	15.40	114.20	16.40	14.75	— 0.60	32.77	36.44
79	Juglans regia.	—	10	15	47	146.02	30.37	115.65	146.04	17.57	116.96	11.51	12.80	+ 1.31	27.23	24.89
80	Robinia ps.-acacia.....	—	10	15	47	146.02	30.37	115.65	151.65	19.72	118.99	12.96	10.65	+ 3.34	22.66	27.53
81	Catalpa syringæfolia....	—	10	15	47	146.02	30.37	115.65	146.04	18.03	117.80	10.21	12.34	+ 2.15	26.25	21.72
82	Taxus baccata	—	10	15	46	149.58	31.11	118.47	146.44	20.83	117.65	7.96	10.28	— 0.82	22.34	17.30
83	Ginko biloba.	—	10	15	46	149.58	31.11	118.47	145 50	16.30	117.73	11.47	14.81	— 0.74	32.19	24.93
84	Pinus sylvestris.......	—	5	15	47	151.40	31.49	119.91	151.61	11.18	122.41	18.02	20.31	+ 2.50	86.42	76.68
85	Picea excelsa.	—	5	15	47	151.40	31.49	119.91	151.40	15.58	123.29	20.13	15.91	+ 3.48	67.70	85.66
86	Fraxinus aurea.......	—	10	15	48	187.02	38.90	148.12	186.12	29.66	149 79	6.67	9.24	+ 1.67		
87	Pistacia chia.	—	10	15	48	187.02	38.90	140.12	187.04	31.55	148.73	6.76	7.35	+ 0.61		

qui nous ont donné un excès d'acide carbonique émis. La différence entre les deux volumes gazeux expiré et inspiré était en tout cas bien inférieure à celle donnée par les rameaux de marronnier à une température de 30°. Nous n'avons cité dans le tableau VI qu'une partie de ces expériences.

Nous devons faire aussi remarquer que ce dégagement d'acide carbonique par les rameaux d'une même plante varie non seulement avec la température, mais encore avec la saison. 10 grammes de *Fraxinus aurea* en avril, à 15°, ont donné en 45 heures 16 cent. cubes d'acide carbonique. Au mois de janvier la quantité produite dans les mêmes conditions n'est plus guère que de 6 cent. cubes. Nous avons eu déjà occasion de signaler le fait dans la première partie de notre travail, nous ne faisons que le rappeler en passant. Le *Pistacia chia* exhale à la même température, en avril, 13 cent. cubes., en janvier, 6 cent. cubes. Le rapport même de l'acide carbonique émis à l'oxygène absorbé peut varier avec la saison, ainsi que le montrent les expériences 76 et 87. Toutes les recherches qui n'ont pas été faites au printemps nous ont donné un excès d'oxygène absorbé.

Voulant nous rendre bien compte de cette influence de la température sur l'absorption de l'oxygène par les rameaux de marronnier à fleurs blanches, nous avons, en 1878, repris ces expériences. Nous opérions alors sur des rameaux terminaux munis de leurs bourgeons ; les résultats sont consignés dans le tableau VII.

Tant que la température a été de 15° environ (expér. 88, 89, 90), il y a toujours eu prédominance du volume de l'oxygène absorbé sur celui de l'acide carbonique émis. Dans une de nos expériences (n° 91) qui a duré 30 heures, nous avons exposé l'éprouvette au soleil pendant trois heures. Nous avons constaté alors que pour 5c.c.,14 d'oxygène pris, il y avait eu émission de 7c.c.,13 d'acide carbonique. Dans ce cas, la plante s'use doublement, elle cède tout à la fois et le carbone et une partie de l'oxygène exhalé à l'état d'acide carbonique.

La chaleur lumineuse n'agit ici que par le calorique qu'elle fournit à la plante, car la chaleur obscure donne les mêmes résultats. A 40°, en deux heures, un rameau de marronnier de 20 grammes (n° 92) n'a absorbé que 1c.c.,35 d'oxygène et il a émis 6c.c.,11 d'acide carbonique. On voit donc que dans ce cas une élévation de température renverse complètement le phénomène. Suivant que l'on opérera à 30° ou 40°, il y aura prépondérance de l'action oxy-

dante ou de l'action réductrice. Nous pouvons en effet considérer comme un phénomène réducteur l'émission de cet excès d'acide carbonique, puisque des hydrates de carbone, comme l'amidon, le glucose ou la cellulose devront perdre par ce dégagement beaucoup plus d'oxygène que de carbone.

Ces recherches ont été étendues aux rameaux de conifères. Les résultats n'ont pas été cités dans ce mémoire, parce qu'ils sont peu concordants. Le phénomène se compliquait beaucoup. On sait que les rameaux de conifères renferment dans leur parenchyme fondamental de nombreuses cellules à chlorophylle. De plus, lorsqu'on coupe une aiguille attenant au rameau, la section ne tarde pas à se recouvrir d'une gouttelette de liquide qui peut avoir une action sur l'oxygène qui se trouve en contact avec elle. M. Chatin [1] a démontré en effet que l'on pouvait extraire de certaines plantes, les orobanches par exemple, un liquide huileux qui au soleil absorbait de l'oxygène et émettait de l'acide carbonique. Il ne nous était donc pas permis d'expérimenter sur des rameaux de conifères ainsi mutilés.

Nous avons pensé qu'il était important d'étendre cette étude aux rameaux munis de leurs feuilles, et nous avons fait les expériences consignées dans le tableau nº VII.

Influence de la température sur le rapport de l'acide carbonique émis à l'oxygène absorbé.

Tout organe végétal vivant (graines en germination, bourgeon, feuille, rameau, fleur, racine) absorbe de l'oxygène et émet de l'acide carbonique. C'est là un fait général caractéristique de la vie. Existe-t-il un rapport simple entre les volumes des deux gaz inspiré et exhalé? Nos expériences tendent à démontrer qu'en général :

1° A basse température, il y a plus d'oxygène absorbé que d'acide carbonique émis.

2° Qu'il existe pour les végétaux une température variable avec l'espèce, pour laquelle le volume d'oxygène est à peu de chose près remplacé par un égal volume d'acide carbonique.

3° Que si l'on dépasse cette température la production de l'acide carbonique surpasse l'absorption d'oxygène.

1. *Sur la respiration des orobanches*, par M. Chatin. (*Bull. de la Société botanique de France*, III, 1856, p. 660.)

Prenons un exemple : le *Pinus pinaster* à 0° (exp. 1, tableau I) absorbe 7^{cc},77 d'oxygène, émet 3^{cc},90 d'acide carbonique ; c'est-à-dire pour 100 d'oxygène exhale 50 d'acide carbonique. A 13° (expér. 3, tableau I) pour la même quantité d'oxygène, il émet 77 de gaz carbonique et à 40° (expér. 96, tableau VII) il en dégage 114.

Pour les conifères en général c'est entre les températures de 30 et de 35° que le dégagement d'acide carbonique égale l'absorption d'oxygène. Lorsque pour des plantes de cette famille on arrive à des températures de 40 ou 42°, le dégagement d'acide carbonique surpasse l'absorption d'oxygène. Nous citerons les expériences faites sur le *Pinus excelsa*, le *Pinus pinaster*, l'*Abies pinsapo* et l'*Abies nordmanniana*.

A 38°, il y a pour 100 d'oxygène absorbé, 122 d'acide carbonique produit par l'*Abies pinsapo*, 107 par le *Pinus excelsa* et 108 par l'*Abies nordmanniana*.

Nous devons faire remarquer que ce rapport même, de la quantité d'oxygène absorbé à la quantité d'acide carbonique émis, varie pour la même plante avec son état de santé et avec son plus ou moins grand développement. C'est ainsi que des rameaux de *Pinus excelsa* cultivés au Muséum et un peu souffreteux nous donnaient à 40° des quantités d'acide carbonique bien supérieures, par rapport à 100 d'oxygène à celles données par des individus sains et vigoureux cultivés à quelques lieues de Paris.

Cette température extrême au-delà de laquelle la production d'acide carbonique surpasse l'absorption d'oxygène varie singulièrement d'une espèce à l'autre. Si nous opérons sur les conifères, plantes en général des pays froids, une température de 40° sera suffisante pour déterminer le dégagement d'un excès d'acide carbonique. Au contraire, une plante des pays chauds, comme l'*Eucalyptus globulus*, ne nous donnera guère à 40° qu'un volume de gaz carbonique égal à celui de l'oxygène inspiré.

Jetons un coup d'œil sur les expériences 107, 108 et 109, du tableau VII : à 0°, pour 100 d'oxygène, l'*Eucalyptus* produit 69 d'acide carbonique, à 14°, 74, à 40°, 92.

Le *Ficus elastica* qui à 15° absorbe plus d'oxygène qu'il n'émet d'acide carbonique, donne au contraire un petit excès de ce dernier gaz à 40° (expérience 105, tableau VII). Il en est de même pour l'*Evonimus japonicus* à 41° (expérience 102). Le *Cerasus Lauro-*

TABLEAU VII.

Nos D'ORDRE.	DATE de l'expérience.	NATURE DE LA PLANTE employée.	INTENSITÉ de la LUMIÈRE.	POIDS des organes mis en expérience.	TEMPÉRATURES.	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE en heures.	VOLUME PRIMITIF.			VOLUME FINAL.				OXYGÈNE ABSORBÉ.	AZOTE APPARU.
							VOLUME total.	OXYGÈNE.	AZOTE.	VOLUME total.	OXYGÈNE.	AZOTE.	ACIDE carbonique.		
				gr.	°										
88	9 janvier....	Rameau marronnier.....	Obscurité.	10	15	48	187.02	38.90	148.12	187.04	28.36	150.25	8.43	10.54	+ 2.13
89	11 —	—	—	10	14	28	184.28	38.33	145.95	183.90	33.45	148.07	2.38	4.88	+ 2.12
90	29 mars......	—	Lumière diffuse.	5	15	24	187.17	38.91	148.26	186.57	31.99	150.02	4.56	6.92	+ 1.76
91	30 mars......	—	3 heures soleil..	5	15	30	188.45	39.19	149.26	192.43	34.05	151.25	7.13	5.14	+ 1.99
92	10 décembre..	—	Obscurité.	21	40	2	148.34	30.85	117.49	154.79	29.48	119.20	6.11	1.37	+ 1.71
93	5 novembre..	Gingko biloba rameau et feuilles.....	—	10.7	40	3 ½	173.01	36.02	136.99	173.76	22.82	138.15	12.79	13.20	+ 1.46
94	9 novembre..	Pinus excelsa.	—	26.9	40	2	154.86	32.21	122.65	162.15	12.31	125.33	24.51	19.90	+ 2.68
95	4 décembre..	—	—	12	38	2 ½	148.61	30.91	117.70	149.45	17.22	117.54	14.69	13.69	— 0.16
96	9 novembre..	Pinus pinaster.	—	26.4	40	2	157.69	32.80	124.89	161.21	6.45	124.59	30.17	26.35	— 0.30
97	4 décembre..	Abies pinsapo.	—	12.5	38	2 ½	141.18	29.36	111.82	143.87	18.17	111.94	13.76	11.19	+ 0.12
98	20 décembre..	Cerasus Laurocerasus.....	—	14.5	0	24	149.10	31.01	118.09	148.18	26.13	118.23	3.82	4.88	+ 0.14
99	19 novembre..	Cerasus Laurocerasus. ...	—	9.1	44	3 ½	150.35	31.27	119.08	149.37	16.09	120.35	12.93	15.18	+ 1.27
100	16 novembre..	Evonimus japonicus	—	11.7	38	2	142.65	29.67	112.98	142.33	18.07	113.17	11.09	11.60	+ 0.19
101	—	—	—	10.6	38	2	157.47	32.75	124.72	158.97	22.99	126.74	9.24	9.76	+ 2.02
102	19 novembre..	—	—	15.7	41	3 ½	150.35	31.27	119.08	153.15	7.47	119.49	26.19	23.80	+ 0.41
103	16 novembre .	Ailanthus glandulosus.....	—	3.8	38	2	146.36	30.44	115.92	146.95	18.36	116.58	12.08	12.01	+ 0.66
104	10 décembre..	Abies nordmanniana...	—	16.5	38	2	148.34	30.85	117.49	149.55	21.58	117.81	10.46	9.27	+ 0.32
105	5 janvier....	Ficus elastica.	—	18	40	2	148.68	30.92	117.76	151.39	25.05	119.97	6.37	5.87	+ 2.21
106	5 janvier....	Benthamia fragifera......	—	9	40	2	148.68	30.92	117.76	148.60	23.90	118.83	6.37	7.02	+ 0.57
107	4 janvier....	Eucalyptus globulus......	—	14	0	24	150.21	31.24	118.97	151.80	25.80	122.24	3.76	5.44	+ 3.27
108	11 —	—	—	3.5	14	28	184.28	38 33	145.95	182.03	30.08	145.78	6.17	8.25	— 0.17
109	5 —	—	—	13	40	2	184.68	30.92	117.76	149.53	20.01	149.43	10.09	10.91	+ 1.67

cerasus à 0°, pour 100 d'oxygène, émet 78 d'acide carbonique, à 41° il en dégage 85 (exp. 98, 99).

On est conduit à se demander si, à l'obscurité, toutes les parties d'un végétal maintenues à des températures inférieures à 20 degrés absorbent en général plus d'oxygène qu'elles n'émettent d'acide carbonique. Toutes les expériences que nous avons faites sur ce sujet sont concordantes.

On sait par exemple que les racines des plantes absorbent de l'oxygène et émettent de l'acide carbonique. MM. P.-P. Dehérain et J. Vesque [1] ont encore appelé récemment l'attention sur ce fait qu'une racine respire comme les autres organes végétaux quand la fonction chlorophyllienne n'est pas en jeu. M. Corenwinder [2] a même démontré que ce dégagement d'acide carbonique augmentait lorsque la température s'élevait ou que les feuilles venaient à tomber. Enfin, depuis Saussure, on connaît ce fait que des racines séparées de leur tige donnent de plus grandes quantités d'acide carbonique que lorsqu'elles sont liées au végétal qu'elles supportent.

Nous avons pris une racine de buis, nous l'avons placée dans une de nos éprouvettes, en contact avec de l'air atmosphérique et au bout de 45 heures, nous avons mis fin à l'expérience. La température avait été de 15°.

	Gaz primitif.	Gaz final.	Différences.
Volume total...........	236.65	235.30	— 1.35
Oxygène...............	51.37	31.59	— 19.78
Acide carbonique.......		13.07	+ 13.07
Azote..................	184.28	190.64	+ 6.36

Pour $19^{cc},78$ d'oxygène pris il s'est dégagé $13^{cc},07$ d'acide carbonique. On voit donc encore que pour une racine de buis séparée de la tige et maintenue dans l'obscurité il y a, à 15°, plus d'oxygène pris que d'acide carbonique exhalé.

Nous n'avons pas voulu répéter cette expérience à 40°, estimant que les conditions physiologiques de vie d'une racine ne permettent pas une semblable élévation de température.

Nous avons démontré précédemment que les rameaux se comportaient comme les feuilles. Il y a donc dans la respiration végétale

1. P.-P. Dehérain et J. Vesque, *Sur la respiration des racines.* (*Ann. sciences nat.*, t. III, p. 827, 1876; *Ann. agron.*, t. II, p. 512.)

2. *Annales agronomiques*, t. II, p. 575.

comme dans la respiration animale une variation dans le rapport de l'oxygène consommé et de l'acide carbonique exhalé. Les travaux classiques de W. Edwards [1] ont depuis longtemps démontré ce fait, déjà signalé par Lavoisier, que le volume d'oxygène absorbé par un animal est en général plus grand que le volume de l'acide carbonique exhalé. En 1821, M. W. Edwards constata non-seulement que la proportion entre l'oxygène qui disparaît et l'acide carbonique produit est très variable mais que ces variations sont si grandes que tantôt la différence est presque nulle, tandis que d'autres fois ce dernier gaz ne représente pas les deux tiers du premier. Ce savant physiologiste a démontré combien grande était l'influence de l'espèce et du régime sur ce dégagement et cette absorption de gaz.

Mais c'est surtout si nous comparons la respiration végétale à celle des animaux à sang froid que nous rencontrons une coïncidence remarquable. Nous savons qu'une élévation de température active non seulement la production de l'acide carbonique dans les végétaux, mais encore augmente la proportion de l'acide carbonique produit par rapport à l'oxygène pris. Or, M. Milne-Edwards faisant, dans ses belles leçons sur la physiologie, l'analyse des travaux de Regnault et Reiset, s'exprime ainsi : « Pour les animaux à sang froid, l'excitation produite par l'action peu prolongée de la chaleur paraît augmenter la production relative de l'acide carbonique. Ainsi, on voit que, dans les expériences de MM. Regnault et Reiset, faites en mars, quand la température était de 7°, la proportion de l'acide carbonique exhalé était à celle de l'oxygène consommé par des lézards comme 73 est à 100; tandis que dans une autre série d'expériences faites en mai par une température de 23°, elle s'est élevée à 75 pour cent [2].

Pour les animaux à sang chaud le phénomène est inverse. M. W. Edwards a prouvé que l'action tonique du froid augmente la part affectée à la combustion du carbone dans l'emploi de l'oxygène absorbé; la respiration croît à mesure que la température s'abaisse. Ce phénomène est fatal; pour que la température de l'animal reste constante, la combustion, source de chaleur, doit croître au fur et à mesure que les déperditions de calorique augmentent. Il n'en est plus de même pour les animaux à sang froid; et c'est justement ce

1. W. Edwards, *Influence des agents physiques sur la vie*, p. 417.
2. *Leçons sur la physiologie*, par M. H. Milne-Edwards, t. II, p. 588.

qui nous permet la comparaison des deux respirations végétale et animale.

Ainsi, non seulement les végétaux comme les animaux à sang froid fixent de l'oxygène et émettent de l'acide carbonique, non seulement le dégagement de ce dernier gaz croît dans les deux cas avec la température, mais la similitude est plus profonde encore, car la chaleur agira sur les uns et sur les autres de façon à faire varier dans le même sens les rapports des gaz absorbé et émis.

De la formation des corps pauvres en oxygène.

Ces résultats nous conduisent à envisager cette émission d'acide carbonique comme provenant des réactions qui prennent naissance entre les différents principes immédiats et qui, lorsque la température s'élève, aboutissent à la formation de composés pauvres en oxygène ou même complètement dépourvus de ce corps simple.

Si la respiration végétale n'était qu'une simple transformation d'un volume donné d'oxygène en un même volume d'acide carbonique, on comprendrait que cette émission de gaz carbonique fût fonction de la température, mais dans tous les cas le rapport de l'acide carbonique émis à l'oxygène absorbé devrait être constant. Or, il n'en est rien. Puisque en élevant la température nous favorisons le dégagement d'acide carbonique bien plus que l'absorption d'oxygène, il doit donc se produire dans l'intérieur du végétal des réactions particulièrement favorisées par la chaleur obscure, réactions qui ont pour but de produire des composés pauvres en oxygène.

L'exemple que nous donne le pin maritime est excellent pour la démonstration qu'il s'agit d'entreprendre. On sait en effet que cette plante fournit de la résine très pauvre en oxygène et un carbure d'hydrogène, l'essence de térébenthine. Or, dans les feuilles de cette plante comme dans celles de toutes les autres, l'acide carbonique est décomposé en donnant un volume d'oxygène égal au sien ; il est donc probable qu'il se produit dans les aiguilles de pin une substance de la forme $C^{12}H^{12}O^{12}$, un corps renfermant du carbone plus les éléments de l'eau, un hydrate de carbone. Partant de cette matière pour arriver à l'essence de térébenthine, il faut que l'oxygène qui existait primitivement dans ces hydrates de carbone, formés sous l'influence du soleil, soit éliminé, et cette élimination ne se produit pas à l'état

libre puisque, nous le répétons, les nombreuses expériences de M. Boussingault ont démontré que pour un volume d'acide carbonique disparu pendant l'insolation, il apparaît un volume d'oxygène à peu près égal. Si l'oxygène n'est pas éliminé à l'état libre, il doit l'être sous forme d'une combinaison très riche en oxygène, c'est-à-dire sous forme d'eau ou d'acide carbonique. Le raisonnement nous conduit donc, comme l'expérience qui a lieu à une température de 40°, à conclure que l'acide carbonique émis par les feuilles provient de ces réactions internes qui ont pour effet la production de composés pauvres en oxygène ou même de carbures d'hydrogène.

Il est bien clair en effet, d'après les expériences précédentes que l'acide carbonique émis ne provient pas uniquement d'une combustion due à l'oxygène atmosphérique, puisque, dans la plupart de ces expériences exécutées à 40°, la quantité d'acide carbonique dégagé s'est trouvée supérieure à la quantité d'oxygène consommé.

De la respiration végétale au soleil.

On nous objectera sans doute que dans les conditions normales de végétation à l'obscurité, la température ne s'élève jamais dans nos climats à 38 ou 40°. Nous ferons remarquer que la respiration ne se produit pas seulement la nuit. Bien qu'elle soit masquée par le phénomène de nutrition, par la décomposition de l'acide carbonique, par la chlorophylle, elle n'en existe pas moins le jour au soleil. Lorsqu'un rayon lumineux vient frapper un organe végétal, nous avons à considérer plusieurs radiations. Les unes, très réfrangibles, agissent surtout pour déterminer soit les mouvements intérieurs du protoplasma [1], soit les mouvements extérieurs des plantes [2]. Les

1. Famintzin, *Ann. sc. nat.*, 5e série, t. VII, p. 203. — M. Famintzin a démontré que les grains de chlorophylle exécutent normalement et tous les jours, dans les cellules des feuilles du mnium, un changement de position : 1° ils occupent pendant le jour la face supérieure et la face inférieure de la cellule et s'appliquent à leurs parois latérales pendant la nuit; 2° cette migration des grains de chlorophylle s'effectue uniquement sous l'influence de la lumière; 3° la position diurne des grains de chlorophylle ne se produit que par les rayons les plus réfrangibles de la lumière artificielle; la lumière jaune agit comme l'obscurité.

Borodin, *Mélanges biologiques de Saint-Pétersbourg*, VI, 1867. — Prillieux, *Comptes rendus*, 1870.

2. Sachs, *Physiologie végétale*.

Paul Bert, *Comptes rendus*, 1878, t. LXXXVII.

radiations qui sont absorbées par la chlorophylle agissent suivant leur énergie pour opérer la réduction de l'acide carbonique [1]. Enfin, les rayons les moins réfrangibles, les radiations calorifiques obscures, excitent plus particulièrement les phénomènes de respiration. Cette chaleur obscure à cause de l'énorme pouvoir absorbant des substances végétales (pouvoir absorbant qui pour les feuilles est presque égal à celui du noir de fumée [2]), vient activer d'une façon toute spéciale la combustion interne accusée par un dégagement d'acide carbonique. Ainsi c'est non seulement la nuit mais surtout le jour, sous l'action de la chaleur obscure des rayons solaires, que se produiront de plus grandes quantités d'acide carbonique qui, aussitôt décomposées par la chlorophylle, ne permettront pas de constater leur apparition. En même temps que s'opérera la décomposition de l'acide carbonique, la respiration sera activée.

On sait que, depuis 1852, M. Garreau a complètement séparé les phénomènes de respiration diurne et nocturne, faisant rentrer plus spécialement les premiers dans les fonctions de nutrition; mais pour que cette théorie subsiste tout entière, pour que la respiration ait bien un caractère général, il faut deux choses: 1° Que tout organe dépourvu de chlorophylle donne à l'obscurité ou au soleil des quantités d'acide carbonique qui croîtront avec la température. Cette condition est parfaitement remplie puisque des pétales de fleurs, puisque des rameaux dont l'écorce renferme très peu de chlorophylle, dégagent, soit à l'ombre, soit au soleil, un volume d'acide carbonique d'autant plus grand que la température est plus élevée. Les expériences de M. Lory sur la respiration des orobanches ont depuis longtemps établi ce fait [3].

2° Il faut, d'après nos expériences, qu'à une température de 40°, au soleil, lorsque le volume de l'acide carbonique produit par la respiration est supérieur à celui de l'oxygène absorbé, on trouve, dans un mélange d'air et d'acide carbonique, en contact avec une feuille, plus d'oxygène produit que d'acide carbonique décomposé.

En effet, si nous plaçons des feuilles au soleil à 20°, dans un mé-

1. Timiriazeff, *Annales de chimie et de physique* et *Comptes rendus*, 1877.
2. Maquenne, *Comptes rendus*, LXXX, 1875.
3. A toute époque de leur végétation, toutes les parties des orobanches, soit à la lumière solaire, soit dans l'obscurité, absorbent l'oxygène et dégagent à sa place de l'acide carbonique. Lory, *Respiration et structure des orobanches*. (*Ann. sciences nat.*, 3e série, t. VIII, p. 158.)

lange d'air et d'acide carbonique, ce dernier gaz sera décomposé dans les cellules à chlorophylle ; mais, en plus de ce gaz carbonique qui vient de l'extérieur, il y en aura une petite quantité produite par la respiration. Seulement, comme à cette température la respiration demande autant d'oxygène qu'elle émet d'acide carbonique, et cet acide carbonique étant décomposé et remplacé par un égal volume d'oxygène, le volume total, à la fin de l'expérience, sera ce qu'il était au commencement. En un mot la respiration prendra un volume donné d'oxygène à l'atmosphère ambiante, et la nutrition lui rendra le même volume d'oxygène.

Faisons la même expérience à 40°. A cette température, nous avons démontré que, par la respiration, certaines feuilles émettent un volume d'acide carbonique supérieur à celui de l'oxygène absorbé. Dans ces conditions, nous devrons trouver plus d'oxygène produit que d'acide carbonique absorbé. Le volume du gaz devra augmenter.

Or, c'est justement ce qu'a démontré M. Boehm dans son mémoire sur la respiration des plantes terrestres[1]. Il plaçait des feuilles de *Juglans regia* dans une atmosphère d'hydrogène et d'acide carbonique; il faisait l'analyse du gaz au bout de 20 minutes, de façon à tenir compte des petites quantités d'oxygène et d'acide carbonique amenées par la feuille. Il plaçait l'éprouvette contenant le tout au soleil et, à la fin de l'expérience, il mesurait le volume du gaz et en faisait l'analyse. Dans ces conditions, l'augmentation de volume de la masse gazeuse était très faible, mais constante. M. Boehm a opéré sur huit espèces de feuilles différentes.

Il dit, du reste, au commencement de son mémoire que, dans toutes ses expériences faites au soleil, la somme de l'acide carbonique restant et de l'oxygène dégagé était toujours trop forte comparativement à l'acide carbonique employé. Cela tient, selon nous, à ce que la respiration végétale au soleil donne un volume d'acide carbonique plus grand que celui de l'oxygène inspiré. C'est en effet ce que nous avons obtenu avec des organes végétaux contenant peu de chlorophylle comme les rameaux de marronnier.

Ces rameaux terminaux ne sont pas du reste les seuls organes capables de dégager de l'acide carbonique au soleil. Depuis longtemps M. Garreau a démontré que les bourgeons se conduisent de la même

1. *Respiration des plantes terrestres.* (*Ann. sciences nat.*, 5e série, XIX)

façon. Lorsque dans une jeune pousse il n'y a pas assez de chlorophylle pour décomposer tout le gaz carbonique qui se produit dans les phénomènes de la respiration, activée par la chaleur solaire, il peut se dégager en même temps et de l'acide carbonique et de l'oxygène, ainsi que l'a parfaitement constaté M. Corenwinder[1], dans un travail inséré aux *Annales des sciences naturelles*. Nous ne pouvons faire mieux que de citer textuellement les résultats consignés dans ce mémoire.

« Le 9 avril, six jeunes pousses de pivoine entièrement rouges, et dont les feuilles n'étaient pas encore développées, donnèrent au soleil, dans de l'eau chargée d'acide carbonique, une proportion très sensible d'oxygène.

» Au même instant, six pousses entièrement pareilles aux précédentes, mises dans la cloche de mon appareil, expirèrent en plein air de l'acide carbonique à l'ombre et au soleil.

» Le 30 avril 1865, je fis une expérience de même nature sur de jeunes pousses de pommes de terre ayant environ 7 centimètres de hauteur, et j'acquis la conviction en opérant comme précédemment qu'elles exhalaient en même temps de l'oxygène et de l'acide carbonique. »

Ce sera donc sous l'action des radiations calorifiques, lumineuses et surtout obscures, émanant du soleil, que les phénomènes de respiration seront activés.

De la production de l'acide carbonique dans une atmosphère ne contenant plus d'oxygène.

En 1847, M. Lory avait remarqué que, dans une atmosphère d'hydrogène pur en l'absence de l'oxygène, des plantes ne contenant point de chlorophylle, comme les orobanches, continuaient à dégager de l'acide carbonique et un peu d'azote.

Depuis on a étendu ces recherches à tous les végétaux, et M. Dehérain et l'auteur de ce mémoire ont vu qu'une feuille quelconque placée dans une atmosphère d'azote ou d'acide carbonique cherchait dans la combustion de ses propres éléments la chaleur nécessaire à l'entretien de la vie. L'animal ne peut respirer qu'avec l'oxygène

1. Corenwinder, *Recherches chimiques sur la végétation*. (*Ann. sc. nat.* 5e série, t. VII, p. 375.)

libre, une feuille au contraire peut continuer à dégager de l'acide carbonique dans un milieu qui ne renferme plus d'oxygène.

D'après M. Boehm, la formation immédiate d'acide carbonique par les plantes terrestres fraîches dans une atmosphère privée d'oxygène est tellement constante que, lorsque le volume du gaz dans lequel on les enferme reste le même, il faut nécessairement en conclure qu'ou bien les gaz employés contiennent de l'oxygène, ou que la plante est morte.

MM. Lechartier et Bellamy étudiant ce phénomène au point de vue chimique, démontrèrent que les cellules d'une feuille soustraite à l'action de l'oxygène de l'air agissaient comme la levûre de bière en présence du glucose, et donnaient de l'alcool et de l'acide carbonique. Plus récemment, M. Müntz, en expérimentant sur des plantes entières dans une atmosphère d'azote, c'est-à-dire en se mettant dans les meilleures conditions physiologiques possibles, a démontré par une méthode très élégante que non seulement une plante formait de l'alcool à l'abri de l'oxygène, mais encore que la vie n'était en rien altérée, lorsque, après un séjour de 48 heures dans l'azote, le végétal était replacé dans des conditions normales.

Dans toutes nos recherches sur la respiration, nous avons vu, quel que soit l'organe mis en expérience, fleur, feuille, bourgeon, rameau, qu'aussitôt que l'oxygène venait à manquer, le dégagement d'acide carbonique continuait, et que, comme dans la respiration végétale proprement dite, il semblait lié à la température.

Plus la température était élevée et plus il y avait d'acide carbonique produit; à 0° ce dégagement était très-faible. Nous avons fait remarquer aussi à propos de la respiration des pétales qu'il était lié à l'état de santé des organes mis en expérience.

Cette formation d'acide carbonique par la cellule vivante des végétaux est donc tout à fait générale. Chaque fois que dans nos appareils l'oxygène venait à manquer (lorsque les expériences par exemple avaient une trop longue durée), le volume d'acide carbonique dégagé continuait à s'accroître. La plante se brûlait pour vivre. Elle fournissait tout à la fois et le carbone et l'oxygène.

Comparaison de l'activité respiratoire entre les feuilles, les bourgeons et les rameaux.

Il nous a paru intéressant de comparer entre eux les volumes d'acide carbonique dégagés par les différentes parties d'un végétal. Pour le marronnier, le maximum de dégagement d'acide carbonique a lieu au moment de l'épanouissement des bourgeons, alors que les jeunes feuilles sont encore d'un vert tendre et qu'elles se développent avec une énorme rapidité.

100 grammes de rameaux de marronnier en 10 heures donnent à 20° au mois de décembre 20 cent. cubes d'acide carbonique, en août à 17°, 27 cent. cubes. Les bourgeons dans les mêmes conditions de poids et de durée donnent en avril à 15°, un peu avant leur épanouissement, 120 cent. cubes; enfin, lorsqu'ils s'ouvrent dans l'éprouvette, ils exhalent environ 160 cent. cubes. Les jeunes feuilles formées quelques jours après fournissent encore 155 cent. cubes.

Si l'on prend en janvier un rameau muni de ses deux bourgeons terminaux à fleurs et qu'on la fasse respirer comme il a été dit plus haut à la température de 15°, on obtiendra par 100 grammes en 10 heures 17 cent. cubes d'acide carbonique. La vie est comme engourdie, la respiration est des plus faibles. Au mois d'avril, lorsque les gaz diminuent à l'intérieur du rameau et que la sève augmente, lorsque les bourgeons se gonflent et que les matières de réserve sont transformées, 100 grammes en 10 heures exhaleront, à la même température de 15°, 76^{cc}, 28. Le volume est plus de quatre fois supérieur à celui obtenu en janvier. Ainsi, au retour du printemps, lorsque le rameau reçoit une somme de chaleur beaucoup plus grande qu'en hiver, il y a une recrudescence de vie qui se traduit par un accroissement de la respiration. Avant que la jeune feuille sorte du bourgeon, le rameau terminal est le siége de réactions favorisées par la chaleur obscure, réactions qui atteignent alors leur maximum, car le même rameau un mois après, lorsque les feuilles sont complètement épanouies, respirera avec une énergie beaucoup moindre.

Ce ne sont donc pas seulement les bourgeons qui donneront de plus grandes quantités d'acide carbonique au retour du printemps, mais bien aussi les rameaux terminaux.

Le dégagement de l'acide carbonique n'est pas directement lié à l'absorption de l'oxygène.

La plante, par l'effet de la respiration, absorbe un volume déterminé d'oxygène; si elle émettait un même volume d'acide carbonique et qu'il y eut égalité entre les volumes de gaz absorbé et émis, on pourrait croire que l'on est en présence d'une simple combinaison du carbone de la plante avec l'oxygène de l'air. Mais il n'en est point ainsi. Le rapport des volumes de gaz inspiré et exhalé varie avec la température, avec l'espèce, avec l'état de vigueur de la plante. S'il y a absorption d'un excès d'oxygène, il doit se produire logiquement des phénomènes d'oxydation, une partie de l'hydrogène peut être brûlée et donner de l'eau, des acides végétaux peuvent se former.

Si, à 30°, nous plaçons 30 grammes de très jeunes feuilles de marronnier dans l'appareil décrit dans la première partie de ce mémoire, que nous fassions pendant 3 heures circuler un courant d'air ayant passé dans une solution de potasse, nous obtiendrons 153 milligrammes d'acide carbonique. Les feuilles se trouvent dans des conditions normales, elles fixent de l'oxygène, en même temps elles émettent de l'acide carbonique. Sans toucher à notre appareil, nous faisons passer pendant 3 heures, sur les mêmes feuilles et à la même température, un courant d'azote pur; nous supprimons l'action oxydante, si les deux phénomènes étaient intimement liés, nous ne devrions plus trouver que de très petites quantités d'acide carbonique provenant des méats intercellulaires. Dans cette seconde partie de l'expérience nos tubes à potasse ont augmenté de 66 milligrammes. Le dégagement a diminué, mais il se produit encore de notables proportions d'acide carbonique.

Et l'on ne peut pas dire que la fermentation alcoolique intracellulaire se produit, car le phénomène est tout à fait différent. Si l'on laisse, en effet, le courant d'azote continuer, on recueillera des quantités d'acide carbonique de plus en plus faibles; on arrivera ainsi jusqu'à un minimum, puis la production de l'alcool accompagnée du dégagement d'acide carbonique commencera alors et ira toujours en croissant jusqu'à l'épuisement complet de la plante, jusqu'à la mort.

Lorsque l'on vient à supprimer tout à coup l'oxygène qui entoure un végétal, le dégagement de l'acide carbonique ne diminue que lentement, au fur et à mesure que les réactions, qui lui donnent naissance, décroissent en vertu des conditions anormales dans lesquelles il se trouve placé.

Faisons pénétrer un rameau de marronnier à fleurs rouges, muni de ses bourgeons, dans le même appareil, à la température de 34°. Pendant deux heures on laisse passer un courant d'air; nous recueillons 118 milligrammes de gaz carbonique; nous remplaçons l'air par un courant continu d'azote et nous obtenons 114 milligrammes. C'est à peine si le dégagement a diminué. Cela se comprend; l'expérience a été faite le 4 mai, à ce moment, comme nous l'avons dit plus haut, où il y a recrudescence de l'énergie vitale; la respiration est notablement exaltée, la transformation des matériaux de réserve se fait, les réactions continuent, bien que s'affaiblissant un peu, après le départ de l'oxygène.

Et ces réactions, source de l'acide carbonique, vont en diminuant de plus en plus dans l'obscurité même en présence de l'oxygène. C'est ainsi que, si nous ramenons pendant 2 heures le courant d'air, nous n'obtenons plus que 109 milligrammes.

Ce dernier fait est général, nous avons placé des feuilles de *Ficus elastica* dans notre appareil et nous avons remarqué que, dans un courant d'air, la température restant constante, le dégagement d'acide carbonique allait toujours en diminuant. M. Borodin [1] a démontré qu'il suffisait alors d'une insolation en présence de l'acide carbonique pour rendre au végétal son activité première pour une température donnée. On voit donc bien que, lorsque les matériaux fabriqués par les cellules sous l'influence de la lumière solaire viennent à diminuer, le dégagement d'acide carbonique diminue aussi. Ce dégagement est donc le résultat des réactions qui se passent dans l'intérieur du végétal.

Après avoir ainsi multiplié les expériences, nous avons cherché à les interpréter et à éclairer cette question: Quelle est l'utilité de cette combustion interne qui s'accuse par l'absorption d'oxygène et l'élimination de l'acide carbonique?

Il nous a semblé que les notions que la science possède aujourd'hui sur le rôle de la chaleur, sur ses métamorphoses, nous per-

1. *Ann. agronomiques*, t. IV, p. 607.

mettaient d'esquisser l'ensemble des phénomènes de respiration. On conçoit que, si la décomposition de l'acide carbonique et de l'eau est nécessaire pour fournir la matière même employée dans la fabrication du glucose ou d'une substance analogue[1], principe immédiat dont paraissent dériver tous les autres, que si l'intervention de la chaleur lumineuse est suffisante pour déterminer sa formation, la production de tous les autres principes immédiats qui ont lieu par oxydation (acides végétaux), par combinaison ou élimination d'eau (sucre de canne, amidon, cellulose), qui ont lieu par élimination d'acide carbonique (corps gras pauvres en oxygène, résines, huiles essentielles), exigeait l'intervention de la chaleur obscure, non-seulement puisée dans le soleil, mais encore dans la série de combustions internes mises en relief par l'absorption d'oxygène et le dégagement d'acide carbonique.

Sous l'influence de la lumière solaire la plante décompose l'acide carbonique et l'eau, elle évapore de l'eau et transporte d'un point à l'autre la matière qu'elle a ainsi produite[2]; mais cette matière doit être transformée, elle doit devenir sucre, amidon, cellulose, corps gras, etc., une foule de métamorphoses se produisent, exigeant que de la chaleur soit mise en jeu; cette chaleur est non-seulement fournie par le soleil, mais aussi par les combustions dont la plante est le siége; tandis que la nutrition s'arrête quand le soleil disparaît au-dessous de l'horizon, le phénomène de respiration continue dans l'obscurité. Les métamorphoses nécessaires à la formation des nouveaux principes immédiats sont encore provoquées

1. Nous partageons l'opinion de M. Boehm qui ne croit pas que l'amidon soit le premier hydrate de carbone formé dans les cellules; quand on pense à la petite quantité d'acide carbonique décomposé par un grain de chlorophylle d'une plante saine pendant cinq ou six minutes ou même pendant une heure et demie, dans les conditions les plus favorables; quand on considère que déjà, à la température de dix degrés centigrades, le dégagement d'oxygène par les feuilles de noyer insolées, est très faible; qu'enfin la quantité d'acide carbonique qu'il faut pour fournir le carbone nécessaire à la fabrication de l'amidon, formé en si peu de temps, est relativement élevée, on ne peut pas se défendre du doute que, dans les cas observés par M. Famintzin et Krans, l'amidon, devenu visible, provienne de l'acide carbonique décomposé avant l'expérience par la chlorophylle vide d'amidon. (Boehm, *Respiration des plantes terrestres.*)

Depuis cette époque, M. Boehm a publié un nouveau travail sur ce sujet. Il estime que l'amidon qui apparaît dans les grains de chlorophylle à la lumière solaire, n'est pas entièrement dû à la décomposition de l'acide carbonique. (*Ann. agron.* t. III, p. 142.)

2. *Recherches sur l'assimilation des substances minérales par les plantes.* (P.-P. Dehérain. *Ann. sc. nat.*, 5e série, t. VIII, p. 145 et *Comptes rendus.*)

pendant la nuit par la combustion interne, et l'accroissement de la plante n'est pas arrêté.

Bien plus, il arrive souvent que c'est après le coucher du soleil que l'accroissement est le plus rapide [1]. La plante met en œuvre les matériaux élaborés pendant la journée. Et l'on comprend que si l'obscurité dure trop longtemps, le premier principe immédiat formé venant à diminuer, les réactions alors perdent de leur intensité, la respiration s'affaiblit. Une nouvelle insolation est nécessaire pour que la plante reprenne sa première activité.

Si l'émission d'oxygène pendant le jour est l'indice que la plante élabore au moyen de l'acide carbonique et de l'eau la matière première de tous ses tissus, le dégagement d'acide carbonique particulièrement visible pendant la nuit prouve que cette matière première est transformée et que le foyer qui l'anime est en pleine activité.

Telles sont les idées que nos recherches nous ont suggérées. L'importance de la question que nous avons essayé de traiter justifie le grand nombre d'expériences que nous avons exécutées. Le sujet est loin d'être épuisé. Les deux phénomènes de l'assimilation du carbone et de la respiration au soleil doivent être séparés et le dernier doit être spécialement étudié. La quantité d'eau produite et décomposée dans ces diverses réactions doit être déterminée. La question n'est qu'effleurée ; nous espérons par la suite continuer ces recherches et les compléter si cela nous est possible.

Conclusions.

1° Tout organe végétal vivant absorbe l'oxygène de l'air et émet de l'acide carbonique.

1. M. Duchartre a constaté par des mesures prises en août et septembre que pour la vigne, le fraisier, la passerose, le houblon, parmi les dicotylédones, ainsi que pour deux variétés horticoles de glaïeuls parmi les monocotylédones, l'allongement de la tige était en général plus considérable entre six heures du soir et six heures du matin, c'est-à-dire pendant la période nocturne, qu'entre six heures du matin et six heures du soir, ou pendant la période diurne. La différence qu'il a mesurée a été plusieurs fois du double au simple, quelquefois même du triple au simple. (*Comptes rendus*, LXII, 1866, p. 815.)

Nous ne prétendons pas que la croissance en longueur soit liée intimement à la respiration. Nous citons les expériences de M. Duchartre, pour bien démontrer qu'à l'obscurité la vie végétale conserve son intensité, grâce à la combustion d'une partie du carbone de la plante.

2° L'émission de l'acide carbonique dans la respiration végétale n'est point directement liée à l'absorption de l'oxygène.

3° En général, à basse température, il y a plus d'oxygène absorbé que d'acide carbonique émis. Il existe pour les végétaux une température, variable avec l'espèce, pour laquelle le volume d'oxygène est à peu de chose près remplacé par un égal volume d'acide carbonique. Si l'on dépasse cette température, la production de l'acide carbonique surpasse l'absorption de l'oxygène.



Vu et approuvé :

Le Directeur de l'École supérieure de Pharmacie,
A. CHATIN.

Vu et permis d'imprimer :

Le Vice-Recteur de l'académie de Paris,
GRÉARD.

PARIS. — IMPRIMERIE ÉMILE MARTINET, RUE MIGNON, 2.